

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY**

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING**

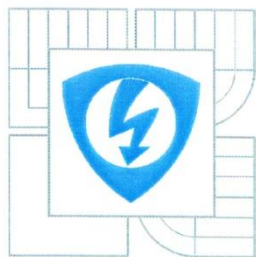
**UKAZATELÉ SPOLEHLIVOSTI V
PODMÍNKÁCH RŮZNÝCH TYPŮ
DISTRIBUČNÍCH SÍTÍ VN**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS**

**AUTOR PRÁCE
AUTHOR**

Bc.ONDŘEJ ADÁMEK

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektroenergetika

Student: Bc. Ondřej Adámek

ID: 109629

Ročník: 2

Akademický rok: 2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Ukazatele spolehlivosti v podmínkách různých typů distribučních sítí vn

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Ukazatele spolehlivosti používané k hodnocení distribučních sítí a jejich využívání v jednotlivých zemích.
2. Zhodnocení problémů při porovnání těchto ukazatelů.
3. Vliv typu sítě vn na hodnoty vybraných ukazatelů.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 6.2.2012

Termín odevzdání: 18.5.2012

Vedoucí práce: doc. Ing. Vladimír Blažek, CSc.

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

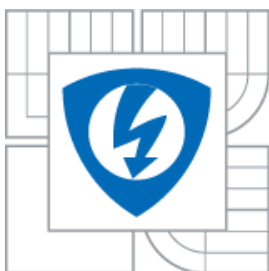
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

UKAZATELÉ SPOLEHLIVOSTI V PODMÍNKÁCH RŮZNÝCH TYPŮ DISTRIBUČNÍCH SÍTÍ VN

RELIABILITY INDICES IN CONDITIONS OF DIFFERENT TYPES OF MV DISTRIBUTION NETWORKS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR
VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Bc. ONDŘEJ ADÁMEK
Doc. Ing. VLADIMÍR BLAŽEK, CSc.

Bibliografická citace práce:

ADÁMEK, O. *Ukazatele spolehlivosti v podmínkách různých typů distribučních sítí vn*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 83 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Vladimír Blažek, CSc..

Poděkování:

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Vladimíru Blažkovi, CSc. A odbornému konzultantovi Ing. Petrovi Skalovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další velmi cenné rady při zpracování mé diplomové práce. Dále bych rád poděkoval rodičům za podporu při studiu, zejména své matce Janě Adámkové.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. Díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

.....

ABSTRAKT

Cílem mé diplomové práce bylo objasnit základní pojmy a výpočty v oblasti spolehlivosti distribuce elektrické energie, jako důležitý prvek pro zvyšování kvality dodané elektrické energie, touto problematikou jsme se zabývali v kapitole 3. V předchozí kapitole jsme vysvětlili principiální řešení sítí VN v České republice a Německu. V kapitole 4 jsme vysvětlili problémy při vyhodnocování hodnot a jejich porovnání mezi jednotlivými distribučními společnostmi, z čehož vyplývá, že by se mělo vytvořit jednotný postup pro uchovávání a sběr dat pro výpadky elektrické energie. A touto normou by se jednotlivé distribuční společnosti měli řídit.

KLÍČOVÁ SLOVA: typy sítí VN; ukazatelé spolehlivosti; *SAIDI*; *SAIFI*; *CAIDI*; spolehlivost; náklady na zajištění spolehlivosti; simulační metoda Monte Carlo; vstupní data; Česká republika; Německo

ABSTRACT

The aim of my thesis was to clarify the basic concepts and calculations in the area of reliability of power distribution, as an important element for increase the quality of supplied electric power, this issue we examined in Chapter 3. In the previous chapter, we explained the fundamental solution of MV networks in the Czech Republic and Germany. In Chapter 4 we explained the difficulties in evaluating their values and comparisons between distributional companies, which follows that there should be a uniform procedure for the storage and collection of data for power outages. And the individual distribution companies should follow this standard.

KEY WORDS:

HV network types, indicators of reliability, *SAIDI*, *SAIFI*, *CAIDI*, reliability, cost of securing of reliability, Monte Carlo simulation method, input data, Czech Republic, Germany

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	9
SEZNAM TABULEK	11
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	12
1 ÚVOD	14
2 PRINCIPIÁLNÍ ŘEŠENÍ ELEKTRICKÝCH SÍTÍ VN	15
2.1 TYPY SÍTÍ VN UŽÍVANÝCH V ČR.....	15
2.1.1 SÍTĚ PAPRSKOVÉ RADIÁLNÍ	15
2.1.2 PRŮBĚŽNÝ ROZVOD	16
2.1.3 DVOJPAPRSKOVÝ ROZVOD	16
2.1.4 SÍTĚ OKRUŽNÍ	17
2.2 TYPY SÍTÍ VN UŽÍVANÝCH V NĚMECKU	18
2.2.1 PŘÍKLADY POUŽÍVANÝCH SÍTÍ V NĚMECKU	18
3 SPOLEHLIVOST V ELEKTROENERGETICE	19
3.1 ZÁKLADNÍ POJMY A DEFINICE V OBLASTI SPOLEHLIVOSTI ELEKTROENERGETIKY	19
3.2 UKAZATELE SPOLEHLIVOSTI	20
3.2.1 OBECNÉ UKAZATELE SPOLEHLIVOSTI.....	21
3.2.2 UKAZATELE SPOLEHLIVOSTI DISTRIBUČNÍCH SÍTÍ.....	21
3.3 POUŽITÍ SPOLEHLIVOSTNÍCH UKAZATELŮ	23
3.4 NÁKLADY NA ZAJIŠTĚNÍ SPOLEHLIVOSTI.....	24
3.4.1 NÁKLADY VZNIKLÉ U ODBĚRATELE VLIVEM VÝPADKU ELEKTRICKÉ ENERGIE	25
3.5 METODY VÝPOČTU SPOLEHLIVOSTI.....	26
3.5.1 METODA SPOLEHLIVOSTNÍCH SCHÉMAT	26
3.5.2 METODY SIMULAČNÍ – MONTE CARLO	29
3.6 METODY ZÍSKÁVÁNÍ VSTUPNÍCH ÚDAJŮ PRO VÝPOČET	31
3.6.1 APRIORNÍ SPOLEHLIVOST.....	31
3.6.2 EMPIRICKÁ SPOLEHLIVOST	32
3.6.3 ZÍSKÁVÁNÍ DAT Z PORUCHOVÝCH DATABÁZÍ	33
3.6.4 VSTUPNÍ SPOLEHLIVOSTNÍ ÚDAJE Z KVALIFIKOVANÉHO ODHADU	36
4 ZHODNOCENÍ PROBLÉMŮ PŘI POROVNÁNÍ HODNOT SPOLEHLIVOSTI DISTRIBUČNÍCH SÍTÍ	37
5 SIMULACE VLIVU TYPU SÍTĚ VN NA HODNOTY VYBRANÝCH UKAZATELŮ	39
5.1 ZADÁNÍ SIMULACE	39
5.2 POSTUP ŘEŠENÍ.....	40
5.2.1 KONTROLA DOVOLENÉHO ZATÍŽENÍ KABELŮ	41
5.2.2 POSTUP ŘEŠENÍ SIMULACE A JEJÍ VÝSLEDKY	41
5.3 CITLIVOSTNÍ ANALÝZA.....	51
5.3.1 ZMĚNA MĚRNÉ PORUCHOVOSTI KABELU	51
5.3.2 PARAMETRY LOGARITMICKO-NORMÁLNÍHO ROZDĚLENÍ μ A σ	53
6 ZÁVĚR.....	56

POUŽITÁ LITERATURA	59
PŘÍLOHA A – KATALOGOVÝ LIST KABELU 10-AXEKCY.....	60
PŘÍLOHA B – KATALOGOVÝ LIST KABELU 22-AXEKCY.....	63
PŘÍLOHA C - ZDROJOVÝ KÓD PRO SÍŤ 10KV V DE	66
PŘÍLOHA D – ZDROJOVÝ KÓD PRO SÍŤ 22KV V ČR	77

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 2-1 Paprsková síť [2].....</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 2-2 Paprsková síť [1].....</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 2-3 Průběžný rozvod [3]</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 2-4 Rozvod dvojpaprskový [1]</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 2-5 Síť okružní [2].....</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 2-6 Okružní síť s možností spojení v rozvodně VVN [8].....</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 3-1 Oceňování spolehlivosti DS na základě spolehlivostních indexu [4].....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 3-2 Závislost finančních nákladů na velikost spolehlivosti[5]</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 3-3 Proces simulace spolehlivosti distribuční sítě [6].....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 3-4 Grafické rozdělení událostí podle příčiny vzniku [5]</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 5-1 Schéma zadané sítě 10kV v Německu a síť 22kV v ČR.....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 5-2 Schéma zadané sítě 10kV v Německu a síť 22kV v ČR – modifikované schéma</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 5-3 Distribuční funkce doby trvání poruchy t_{sp} - první vývod - síť 10kV Německo</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 5-4 Distribuční funkce doby trvání poruchy t_{sp} - první vývod - síť 10kV Německo – detail zobrazení</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 5-5 Distribuční funkce doby trvání poruchy t_{sp} - druhý vývod - síť 10kV Německo</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 5-6 Distribuční funkce doby trvání poruchy t_{sp} - druhý vývod - síť 10kV Německo – detail zobrazení</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 5-7 Histogram a distribuční funkce veličiny SAIFI – síť 10kV Německo</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 5-8 Histogram a distribuční funkce veličiny SAIDI - síť 10kV Německo.....</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 5-9 Distribuční funkce doby trvání poruchy t_{sp} - první vývod - síť 22kV ČR.....</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 5-10 Distribuční funkce doby trvání poruchy t_{sp} - první vývod - síť 22kV ČR – detail zobrazení</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 5-11 Histogram a distribuční funkce veličiny SAIFI – síť 22kV ČR.....</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 5-12 Histogram a distribuční funkce veličiny SAIDI - síť 22kV ČR.....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 5-13 Histogram veličiny SAIDI - síť 22kV ČR – detail zobrazení</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 5-14 Citlivostní analýza - závislost ukazatele spolehlivosti SAIFI na měrné poruchovosti kabelů</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 5-15 Citlivostní analýza - závislost ukazatele spolehlivosti SAIDI na měrné poruchovosti kabelů</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 5-16 Citlivostní analýza - závislost ukazatele spolehlivosti SAIDI na na parametrech logaritmicky-normálního rozdělení pro síť 10kV v DE.....</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 5-17 Citlivostní analýza - závislost ukazatele spolehlivosti SAIDI na na parametrech logaritmicky-normálního rozdělení pro síť 22kV v ČR.....</i>	<i>54</i>

<i>Obr. 5-18 Citlivostní analýza - závislost ukazatele spolehlivosti SAIDI pro sítě 10kV v DE i 22kV v ČR v závislosti na stejných parametrech logaritmicky-normálního rozdělení - porovnání</i>	55
--	----

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 3-1 Vstupní spolehlivostní hodnoty podle 22/80 ČEZ [5]</i>	<i>33</i>
<i>Tab. 3-2 Nové spolehlivostní parametry ve srovnání s hodnotami ČEZ 22/80 [5].....</i>	<i>35</i>
<i>Tab. 5-1 Citlivostní analýza - závislost ukazatelů spolehlivosti na měrné poruchovosti kabelů ...</i>	<i>51</i>
<i>Tab. 5-2 Citlivostní analýza - závislost ukazatelů spolehlivosti na parametrech logaritmicky-normálního rozdělení pro síť 10kV v DE</i>	<i>53</i>
<i>Tab. 5-3 Citlivostní analýza - závislost ukazatelů spolehlivosti na parametrech logaritmicky-normálního rozdělení pro síť 22kV v ČR.....</i>	<i>53</i>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Al	chemická značka pro hliník
$ASAI$	ukazatel střední spolehlivosti
$CAIDI$	ukazatel průměrné doby trvání přerušení u odběratele
$ČR$	Česká republika
DS	distribuční společnost
DTS	distribuční transformátor
ES	elektrizační soustava
e	Eulerovo číslo
$F(t)$	distribuční funkce
$f(t)$	funkce hustoty pravděpodobnosti
I	proud
L	délka vedení příslušného typu
l_u	délka úseku
$MAIFI$	ukazatel průměrné systémové četnosti krátkodobých přerušení
N	počet poruch
NN	nízké napětí
N_P	počet poruch prvku příslušného typu
n	počet (transformátorů)
$n_{s,u}$	počet poruch na u-tém úseku
$Q(t)$	pravděpodobnost poruchy
$R(t)$	pravděpodobnost bezporuchového provozu
r	náhodná hodnota
S	zdánlivý výkon
S_n	jmenovitý výkon
$SAIDI$	ukazatel průměrné systémové doby trvání přerušení
$SAIFI$	ukazatel průměrné systémové četnosti přerušení
T_s	doba sledování
t	čas
t_{spu}	souhrnná roční doba trvání poruch na úseku
U	napětí
U_{celk}	celkový počet úseků vedení
VN	vysoké napětí

X	délka sledovaného období
Z	počet prvků příslušného typu v síti
β	součinitel zatížení
$\lambda(t)$	intenzita poruch
λ_u	intenzita poruch úseku
λ_k	měrná poruchovost vedení
μ	parametr logaritmicko-normálního rozdělení
σ	parametr logaritmicko-normálního rozdělení
τ_i	doba poruchy prvku příslušného typu

1 ÚVOD

Cílem této práce je v první části popsat topologické řešení sítí na hladině 22 kV používané v ČR, a to zejména sítě paprskové, dvojpaprskové, průběžné a okružní sítě, které budou popsány písemně i graficky.

V následující části bude popsána spolehlivost. Zejména pojmy týkající se spolehlivosti, obecné ukazatelé spolehlivosti, ukazatelé spolehlivosti distribučních sítí a použití těchto ukazatelů. V dalším se budeme zabývat ekonomickými náklady na zajištění spolehlivosti a zlepšení spolehlivostních ukazatelů a opačně náklady vzniklé u odběratelů vznikem nedodávky elektrické energie. V závěru této části budou vysvětleny metody výpočtu spolehlivosti a metody pro získávání vstupních údajů pro výpočet spolehlivostních ukazatelů. V následující kapitole je popsán problém při porovnávání hodnot mezi jednotlivými distribučními společnostmi.

V závěrečné části se věnujeme praktické části spolehlivosti, a to simulaci a porovnání ukazatelů *SAIDI* a *SAIFI* v různých distribučních sítích. Tyto hodnoty porovnáme a zhodnotíme, jak se liší od ukazatelů udávaných distribučními společnostmi.

2 PRINCIPIÁLNÍ ŘEŠENÍ ELEKTRICKÝCH SÍTÍ VN

Distribuční sítě VN na hladině 22 kV jsou u nás provozovány paprskovitě případně formou průběžného rozvodu, i když toto řešení umožňuje řadu propojení do dvojpaprskového nebo okružního rozvodu[1]. Zde popsané způsoby provozu sítí 22 kV jsou děleny z hlediska uspořádání řešeny dle následujících způsobů[1]:

1. Otevřený rozvod
2. Uzavřený rozvod

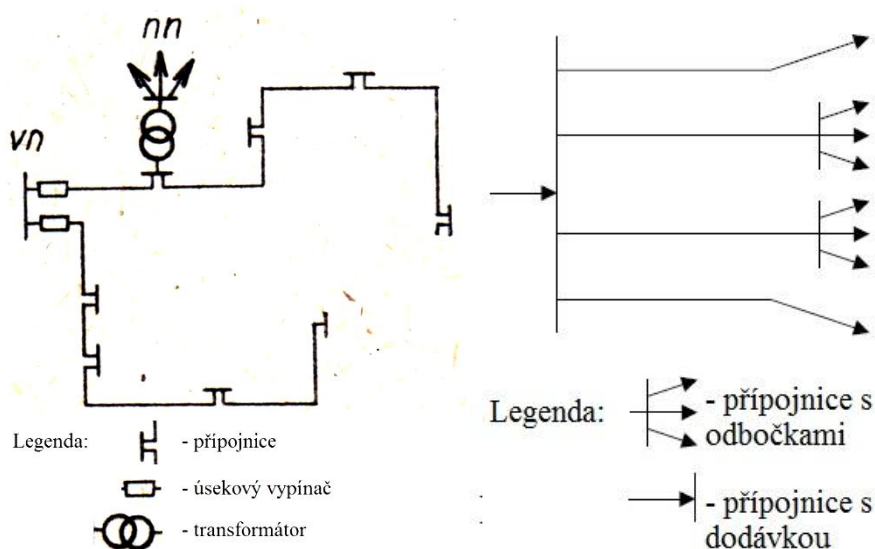
ad. 1) U tohoto způsobu uspořádání je elektrická energie ke spotřebiči dodávána pouze jednou cestou. Mezi druhy sítí zařazené do otevřeného rozvodu můžeme zařadit průběžný a paprskový rozvod [1].

ad. 2) Uzavřený rozvod poskytuje lepší zabezpečení dodávky elektrické energie, jelikož dodávka energie je zajištěna ze dvou nebo i více stran. Na hladině 22 kV můžeme do této skupiny zařadit rozvod okružní. [1].

2.1 Typy sítí VN užívaných v ČR

2.1.1 Sítě paprskové radiální

Síť, zobrazena na obrázku 2-1 a 2-2, u které vedení vychází z napájecího místa (transformátorovny nebo spínací stanice) zásobuje jednotlivé odběry. Každý vývod (paprsek) je samostatný a jednotlivé paprsky nelze vzájemně spojovat. Uvedený druh sítě bývá zpravidla nejlevnější, ovšem spolehlivost dodávky elektrické energie nejmenší [2].

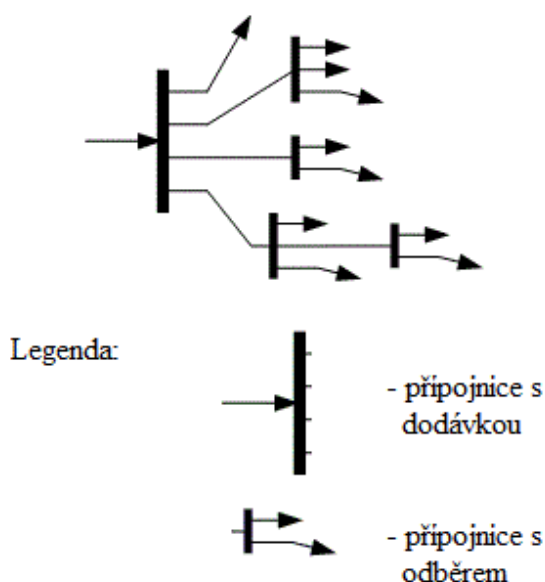


Obr. 2-1 Paprsková síť [2]

Obr. 2-2 Paprsková síť [1]

2.1.2 Průběžný rozvod

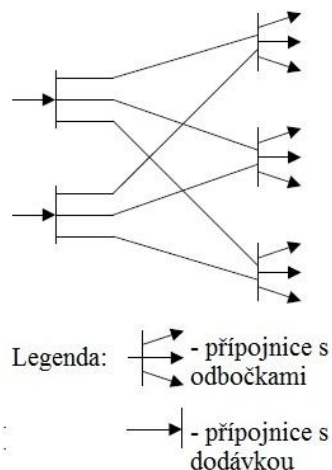
Vyznačuje se dlouhým průběžným vedením, z něhož jsou provedeny odbočky pro napájení jednotlivých spotřebičů či podružných rozvodnic, připojených paprskovou nebo smyčkovou odbočkou. Protože délky průběžných vedení mohou být značně velké, je důležitá kontrola úbytku napětí na délce vedení. Provozní spolehlivost průběžného rozvodu je stejná jako u paprskového, tedy poměrně nízká [3]. Viz obrázek 2-3.



Obr. 2-3 Průběžný rozvod [3]

2.1.3 Dvojpraprskový rozvod

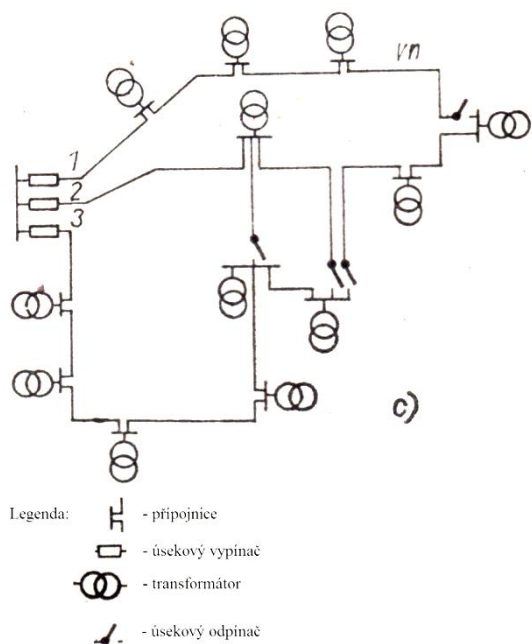
Tento druh rozvodu je v podstatě kombinací dvou paprskových rozvodů s možností vzájemného záskoku dvou zdrojů elektrické energie. Aby však nedošlo při provozu obou zdrojů k paralelnímu chodu, jsou všechny podružné rozváděče podélně rozpojeny. K jejich propojení dochází pouze při výpadku jednoho z napájecích zdrojů. Dvojpraprskový rozvod se hodí velmi dobře pro zajištění napájení prvního stupně důležitosti odběrů. Je to tudíž klasické schéma pro provozy s důležitými odběry (např. napájení požárních zařízení) nebo ve vlastní spotřebě elektráren [3]. Dvojpraprskový rozvod je zobrazen na obrázku 2-4.



Obr. 2-4 Rozvod dvojpaprskový [1]

2.1.4 Síť okružní

Tyto sítě se provozují jako rozepnuté nebo sepnuté. A to tak, že jednotlivé paprsky či polosmyčky jsou vedeny tak, aby se daly sepnout. Obvykle se provozují jako sítě paprskové, tedy jako rozepnuté. Síť okružní jsou dražší než sítě paprskové, protože pro vzájemné pospojování je nutno vybudovat větších délek vedeních (kabelových či venkovních). Velkou výhodou sítě okružní je to, že při poruše vedení lze postižený obvod přepnout na vývod sousední, a to buď ručně, nebo obvykle automaticky. Tímto způsobem zapojení elektrických sítí dosahujeme lepší spolehlivosti dodávky elektrické energie. Další nespornou výhodou okružních sítí rozepnutých je možnost odlehčit přetížené vývody přepnutím části vedení na vývod málo zatížený a tímto způsobem alespoň přibližně dbát na zásadu rovnoměrného zatížení vývodů. Provoz těchto sítí je přehledný a nenáročný [2]. Okružní síť zobrazena na obrázku 2-5.

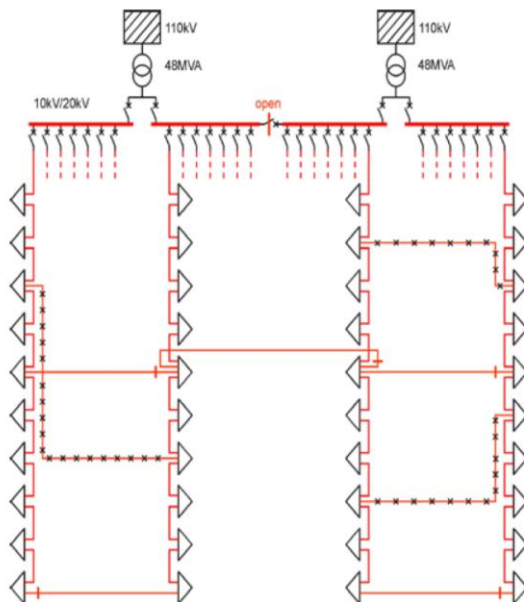


Obr. 2-5 Síť okružní [2]

2.2 Typy sítí VN užívaných v Německu

V kapitole 2.1 byly podrobně rozepsány typy sítí používaných v České republice, od sítí používaných v Německu se principiálně neliší. Podstatný rozdíl je v tom, že nominální napětí používané v Německu je 10 kV resp. 20 kV, u nás je použito napětí 22 kV.

2.2.1 Příklady používaných sítí v Německu



Obr. 2-6 Okružní síť s možností spojení v rozvodně VVN [8]

3 SPOLEHLIVOST V ELEKTROENERGETICE

Obecně lze pojem spolehlivost definovat jako vlastnost systému, která spočívá ve schopnosti plnit požadované funkce při zachování stanovených hodnot provozních ukazatelů a v čase podle stanovených technických norem pro daný systém stanovený. Spolehlivost ES je chápána jako spolehlivost celého systému, který zahrnuje zdrojovou část, přenosovou síť, distribuční síť a zařízení sloužící ke konečné spotřebě elektřiny[4][5].

Takto definovaná spolehlivost je široký a komplexní pojem, který zahrnuje řadu dílčích vlastností – také např. bezporuchovost, životnost, udržitelnost a jiné. Výčet dílčích spolehlivostních vlastností, o kterých má smysl pojednávat u daného objektu, závisí na typu daného objektu a na stavech, ve kterých se daný objekt může nacházet[6].

Mezi důležité pojmy v oblasti analýzy spolehlivosti patří pojmy uvedené v kap. 3.1

3.1 Základní pojmy a definice v oblasti spolehlivosti elektroenergetiky

Objekty lze při spolehlivostních analýzách třídit na dvě skupiny[6]:

- **Prvek** – jednotlivý prvek (entita), který je zkoumán a jehož další struktura není při dané analýze podstatná [6]
- **Systém** – skupina prvků spojených funkčními vazbami, které jsou při analýzách z hlediska funkčního principu podstatné [6]

Stavy objektů se mohou nacházet v různých provozních stavech. Objekty ES se mohou v průběhu jejich používání nacházet v těchto stavech [6]:

- **Provoz** je stav, při kterém objekt vykonává požadovanou funkci. A tento stav lze rozdělit do dvou kategorií [6]:
 - **Plný provoz** – funkci vykonává zcela [6]
 - **Omezený provoz** – funkci vykonává částečně [6]
- **Prostoj** je stav, při kterém objekt v průběhu jeho používání není v provozu, lze jej rozdělit do následujících kategorií [6]:
 - **Poruchový prostoj** - je to stav, za kterého se vyhledává porucha na systému, opravuje se, kontroluje se funkce systému nebo je systém v organizačním prostoji [6]
 - **Údržbový prostoj**
 - **Zálohový prostoj**
- **Jevy**. Z jednoho stavu do druhého přechází objekt v důsledku jevů, jakými jsou např. [6]:
 - **Porucha** – jev spočívající v ukončení schopnosti objektu plnit úplně nebo částečně požadovanou funkci [6]
 - **Ukončení opravy** – jev spočívající v obnovení schopnosti objektu plnit požadovanou funkci [6]

- **Ukončení prostoje** – jev spočívající v ukončení prostoje ať už jde o ukončení prostoje poruchového, údržbového či zálohového) [6].
- **Činnost.** Samotnou opravu a údržbu považujeme za činnost:
 - **Oprava** – činnost prováděná po výskytu poruchy za účelem navrátit objekt do bezporuchového stavu, čímž se myslí vyhledání a odstranění poruchy [6].
 - **Údržba** – činnost konaná za účelem udržet objekt v bezporuchovém stavu po dobu stanovenou technickými normami a podmínkami provozu [6].
- **Jednotlivé vlastnosti spolehlivosti**
 - **Bezporuchovost** je schopnost objektu plnit bez poruchy předepsané funkce po stanovenou dobu a za stanovených podmínek. Číselně se vyjadřuje např. pravděpodobností bezporuchového provozu v daném intervalu, intenzitou poruch, střední dobou bezporuchového provozu apod. [6]
 - **Opravitelnost** je vlastnost objektu spočívající ve způsobilosti zjišťovat příčiny vzniku poruchy a odstraňovat jejich následky opravou. Číselně se vyjadřuje např. pravděpodobností provedení opravy ve stanovené době, intenzitou oprav nebo střední dobou opravy [6].
 - **Pohotovost** je komplexní vlastnost objektu, zahrnující bezporuchovost a opravitelnost objektu v podmínkách provozu. Číselně se vyjadřuje např. pravděpodobností, že se bude objekt nacházet ve zvoleném okamžiku v provozuschopném stavu [6].
 - **Udržovatelnost** je vlastnost objektu spočívající ve způsobilosti předcházet poruchám předepsanou údržbou. Číselně se vyjadřuje např. pravděpodobností provedení údržby ve stanovené době, střední dobou údržby nebo intenzitou údržby [6].
 - **Životnost** je schopnost objektu plnit požadované funkce do mezního stavu při stanoveném systému předepsané údržby a oprav. Číselně se vyjadřuje např. technickou životností, střední technickou životností nebo střední dobou používání [6].

3.2 Ukazatelé spolehlivosti

Základním ukazatelem bezporuchovosti neopravovaných výrobků je pravděpodobnost bezporuchového provozu a z této veličiny odvozeny další jako: hustota poruch, intenzita poruch, pravděpodobnost poruchy nebo střední doba bezporuchového provozu [5]. Ukazatele spolehlivosti lze dělit na dva druhy na obecné popisující jednotlivé prvky, viz kap. 3.2.1 a na ukazatele spolehlivosti distribučních sítí, které pojednávají o globální spolehlivosti dané soustavy, viz kap. 3.2.2

3.2.1 Obecné ukazatelé spolehlivosti

3.2.1.1 Pravděpodobnost bezporuchového provozu $R(t)$

Pravděpodobnost bezporuchového stavu je pravděpodobnost, že v časovém intervalu od 0 do t porucha nenastane. Tuto pravděpodobnost označujeme $R(t) = P(\xi > t)$, kde ξ je čas, v němž dojde k poruše, jenž má charakter spojitě náhodné proměnné. Poruchový a provozuschopný stav se navzájem vylučují a nastane vždy jen jeden z nich. Proto platí [4]:

$$R(t) + Q(t) = 1 \quad (3.1)$$

3.2.1.2 Pravděpodobnost poruchy $Q(t)$

Pravděpodobnost poruchy je pravděpodobnost, že v časovém intervalu od 0 až t porucha nastane. Označujeme ji jako $Q(t)$, a je shodná s distribuční funkcí $F(t)$ náhodné proměnné [4].

3.2.1.3 Hustota poruch $f(t)$

Hustotu pravděpodobnostní poruchy $f(t)$, dostaneme jako derivaci distribuční funkce $F(t)$ [4].

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (3.2)$$

3.2.1.4 Intenzita poruch

Intenzita poruch $\lambda(t)$ je definována zlomkem [4]:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (3.3)$$

3.2.1.5 Střední doba bezporuchového provozu

Střední doba bezporuchového provozu, která je pro neobnovované objekty rovna střední době do poruchy, se definuje jako střední hodnota náhodné veličiny t (tj. doby do poruchy) [6]:

$$E(\tau) = \int_0^{\infty} t \cdot h(t) dt = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (3.4)$$

Střední doba bezporuchového provozu je již hodnotou agregovanou (integrální). Představuje jediné číslo na rozdíl od veličin $R(t)$, $Q(t)$, $h(t)$ a $\lambda(t)$, které jsou funkcemi. Přestože se jedná o charakteristickou hodnotu pro danou funkci, nenese úplnou informaci a má tak omezenou vypovídací schopnost [6].

3.2.2 Ukazatelé spolehlivosti distribučních sítí

Z hlediska hodnocení plynulosti distribuce elektrické energie je nutné se zabývat obecnými ukazateli, jejichž cílem je vytvoření objektivního přístupu pro porovnání ukazatelů plynulosti distribuce elektrické energie jednotlivých distribučních soustav [4].

Ukazatele spolehlivosti distribučních sítí rozdělujeme na základní ukazatele a na ukazatele agregované. Pro získání výsledků o spolehlivosti dodávky v síti jako celku se obvykle provádí agregace dat o přerušení. Jsou kalkulovány agregované ukazatele spolehlivosti dodávky, které mají obvykle podobu průměrné hodnoty [6].

3.2.2.1 SAIFI

Jedná se o ukazatel průměrné systémové četnosti přerušení *SAIFI*, nebo-li *system average interruption frequency index* [6].

Pomocí tohoto ukazatele se zjišťuje průměrný počet odběratelů, které zasáhlo trvalé přerušení dodávky v průběhu celého roku. Při stálém počtu odběratelů je jedinou možností, jak vylepšit tento ukazatel – zmenšit četnost přerušení za sledované období [4].

$$SAIFI = \frac{\text{Celkový počet postižených odběratelů}}{\text{Celkový počet odběratelů}} \left(\frac{1}{\text{rok}} \right) \quad (3.5)$$

3.2.2.2 SAIDI

Zkratka *SAIDI* označuje v překladu průměrná systémová doba trvání výpadku, též v angličtině System Average Interruption Duration Index, z něhož je odvozena zkratka [6].

Rozdílem oproti předcházejícímu indexu *SAIFI* je to, že se zjišťuje celková doba, po kterou byl průměrný počet odběratelů bez dodávky elektrické energie. V tomto případě je možné zlepšit u pevného počtu odběratelů tento index dvěma způsoby. Buďto snížením počtu výpadků dodávky nebo zkrácením součtu všech dob trvání jednotlivých výpadků. Jak je zřejmé, snížení ukazatele *SAIDI* znamená vždy zvýšení spolehlivosti [4].

$$SAIDI = \frac{\text{Součet všech dob, po které trvalo přerušení}}{\text{Celkový počet odběratelů}} \left(\frac{\text{hod}}{\text{rok}} \right) \quad (3.6)$$

3.2.2.3 CAIDI

Ukazatel *CAIDI* bývá označován, jako průměrná doba trvání z angličtiny Customer Average Interruption Duration Index [6].

Tento ukazatel v podstatě vykazuje odezvu distribuční společnosti na vzniklou poruchu, a tím i na průměrnou dobu trvání výpadku. Tento ukazatel může být vylepšen snížením délky doby výpadku [4].

$$CAIDI = \frac{\text{Součet všech dob, po které trvalo přerušení}}{\text{Celkový počet postižených odběratelů}} (\text{hod}) \quad (3.7)$$

3.2.2.4 ASAI

Ukazatel *ASAI* značí z angličtiny Average Service Availability Index, což v překladu znamená průměrná doba dostupnosti sítě.

Ukazatel *ASAI* vykazuje přibližně stejné vlastnosti jako index *SAIFI*, tudíž jeho hodnota odráží i stupeň spolehlivosti. Uvedené ukazatele jsou založeny na sledování celkového počtu

odběratelů, ale existují i indexy pro odběratele, kteří evidují jeden nebo více výpadků ve sledovaném roce. Výše uvedené ukazatele charakterizují průměrnou spolehlivost systému [4].

$$ASAI = \frac{\text{Součet hodin, po které trvala dodávka elektrické energie}}{\text{Celkový počet hodin nasmlouvané dodávky}} \quad (-) \quad (3.8)$$

3.2.2.5 MAIFI

Vzhledem k narůstající citlivosti některých odběratelů na krátkodobé přerušení elektrické energie vedla k zavedení ukazatelů i pro tato přerušení. Obvykle používán ukazatel průměrné četnosti krátkodobých přerušení MAIFI Momentary Average Interruption Frequency Index [6].

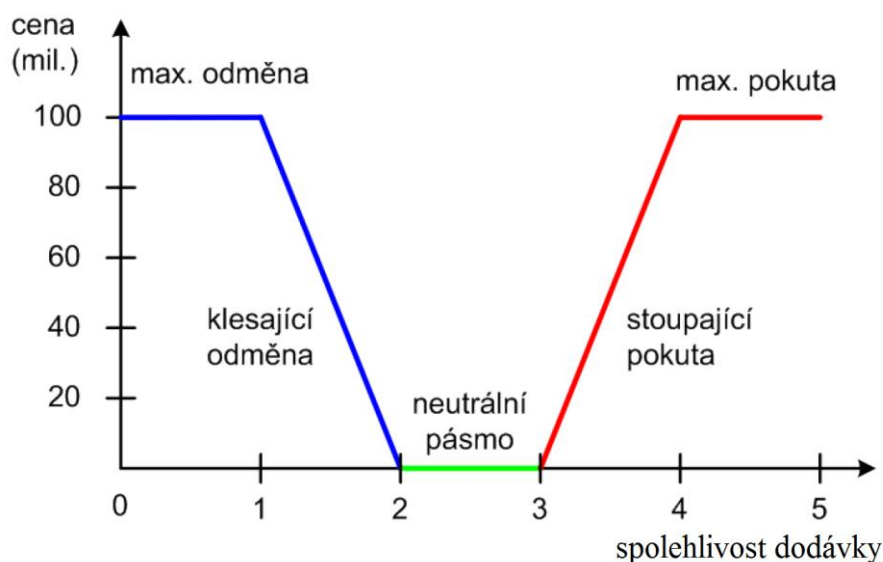
$$MAIFI = \frac{\text{Celkový počet krátkodobých přerušení}}{\text{Celkový počet odběratelů}} \quad (1/\text{rok}) \quad (3.9)$$

3.3 Použití spolehlivostních ukazatelů

Spolehlivostní ukazatele jsou užívány k vyhodnocování uplynulého období, ke zjištění trendů a zákonitostí z toho vyplývajících, ale také ke srovnání jednotlivých organizací. Přesto porovnání mezi jednotlivými státy může být obtížné z důvodů rozdílných geografických podmínek, rozdílného sběru dat, a také rozdílného pohledu na zařazování výpadků v důsledku živelních pohrom. Rozdílné geografické podmínky se na tomto obtížném srovnávání projevují nejvíce. Každý stát či oblast mají značně rozdílný terén a jsou vystaveny jiným podmínkám vnějších vlivů včetně počasí nebo území distribuční společnosti. Tato okolnost ovlivňuje zásobování rozdílného druhu spotřebitelů a oblastí. Dalším důvodem pro používání těchto ukazatelů je snaha zlepšit spolehlivost dodržením nastavených hodnot. Ukazatele jsou také výhodné pro regulátora, který se tím snaží motivovat, pod hrozbou sankcí, dodavatele elektrické energie na základě hodnot z uplynulého období. I přesto že se otvírá trh s elektrickou energií, kdy zákazník má možnost nakupovat elektrickou energii na základě své volby mezi nízkou cenou a spolehlivostí, neustále zůstává připojen ke své distribuční síti v dané lokalitě, a je tak omezen jejím technickým stavem a provozem, které určují značnou měrou spolehlivost dodávky [4].

Regulační orgán má možnost chránit odběratele nastavením pravidel pro distribuční společnosti za účelem zajištění standardů kvality dodávané elektřiny. Základem je mít správná a prokazatelná provozní data za definované období, správně je zhodnotit a na tomto základě se rozhodnout, jak moc je možné spolehlivostní ukazatele vylepšit. Většinou jsou cíle založeny na udržení nebo vylepšení současné hodnoty průměrné systémové intenzity poruch - neboli četnosti poruch, popř. průměrné systémové době trvání výpadku. Ve velké míře zde však existuje značné omezení, jednak v podobě rozpočtu distribuční společnosti, a pak také ochoty odběratelů, podílet se na zvýšených nákladech za zlepšení spolehlivosti zvýšenou cenou za odebranou elektrickou energii [4].

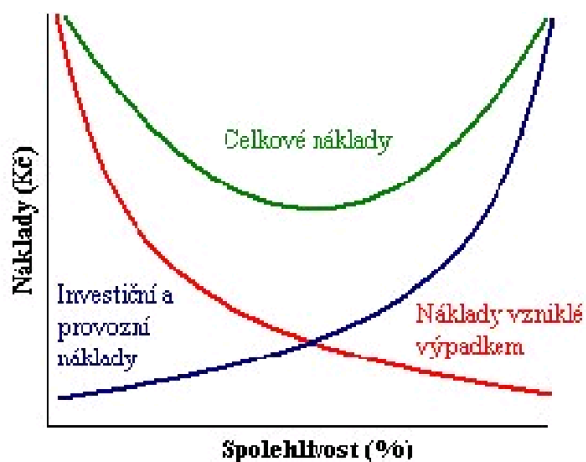
Příkladem nastavení těchto pravidel může být regulace distribuční společnosti na základě výkonnosti. Jde o udělení prémie za zajištění předem dohodnuté spolehlivosti nebo udělení penalizací za její nedodržení. Na obr. 3-1 je znázorněno, jak se postupuje při oceňování spolehlivosti bonifikace či penalizace distribuční společnosti [4].



Obr. 3-1 Oceňování spolehlivosti DS na základě spolehlivostních indexu [4]

3.4 Náklady na zajištění spolehlivosti

Když není dodána odběrateli elektrická energie, garantovaná smlouvou s příslušným dodavatelem, vzniknou určité dodatečné finanční náklady vyvolané tímto výpadkem. Tyto náklady se stávají také důležitými v případě, kdy dodavatel vynakládá určité množství finančních prostředků na zvýšení spolehlivosti. Je patrné, že požadavek lepší spolehlivosti systému, s sebou nese zvýšené náklady do investic na úpravu sítí a také je nákladnější provoz v takovém to případě. Závislost nákladů, vzniklých výpadkem elektrické energie u odběratele a nákladů na zvýšení spolehlivosti na straně distribuční společnosti znázorňuje obr. 3-2. Minimum součtu obou těchto nákladů představuje optimální spolehlivost [5].



Obr. 3-2 Závislost finančních nákladů na velikost spolehlivosti[5]

3.4.1 Náklady vzniklé u odběratele vlivem výpadku elektrické energie

Jsou to náklady vzniklé nedodáním elektrické energie a skládají z více složek [5]:

Přímé náklady – do této položky patří lehce a průkazně zjistitelné náklady po ukončení výpadku dodávky elektrické energie. Příkladem mohou být náklady za znehodnocený materiál, nedodávka výrobků a penále z nich související či mzdy zaměstnancům, kteří nemohli nepracovat po dobu přerušené dodávky elektrické energie [5].

Nepřímé náklady – jsou hůře stanovitelné. Může se jednat o ztrátu důvěry v dodavatele a tím ztrátu zákazníka, rozhodnutí o přesunu výroby do jiné lokality, nabízející větší spolehlivost dodávky apod. [5]

Nepeněžní náklady – některá přerušení dodávek elektrické energie není možno vyjádřit peněžně. Mezi tyto náklady patří zejména nedodání elektrické energie pro veřejné osvětlení a spotřebu domácnostem. V domácnostech je to zejména přerušené osvětlení, sledování TV a rádia, jsou to spotřeby, které se již dále nijak nenahrazují, jako např. u automatické pračky kde se prací cyklus spustí znovu po obnovení dodávky elektrické energie. Abychom mohli nějakým způsobem ocenit takovéto případy, volíme a přiřazujeme určitou částku, kterou by odběratel zaplatil, kdyby nedošlo k výše uvedeným výpadkům. Ze zkušeností je zřejmé, že pro určité skupiny odběratelů jsou důležitější přímé a nepřímé náklady (průmysl a kanceláře), pro jiné mají větší hodnotu nepeněžní náklady (domácnosti). Jak postupovat objektivně v tomto případě, je sledování vlivu výpadku celým spektrem zákazníků formou průzkumů. Průzkumy zahrnují celou řadu velmi důležitých údajů pro následné analýzy. Jsou to např. četnost výpadku za zvolené časové období, doba trvání výpadku, jestli výpadek nastal v pracovní den, o víkendu, jestli má odběratel záložní zdroj atd. Na základě takového průzkumu se potom stanoví průměrné náklady, vzniklé přerušením dodávky. Pro účely plánování a rozvoje sítě je dále účelné rozdělit jednotlivé skupiny zákazníků minimálně na průmyslové odběratele, komerční odběratele a domácnosti. Pro lepší představu výše uvedeného budou následovat příklady čtyř odběratelů (válcovna trub, kancelář, výroba plastů a domácnosti), na kterých bude představen tento problém [5].

a) Válcovna trub

Po přerušení dodávky musí být všechna zařízení vyčištěna od materiálu, ovládací SW musí být restartovány a celý proces spuštěn znovu. Zde tedy nejsme omezeni jenom dobou přerušení, ale také dobou, za kterou je výroba znovu najeta do provozu. Právě tato doba je faktorem, který v tomto případě rozhoduje a ovlivňuje náklady vzniklé nedodáním elektrické energie [5].

b) Kancelář

V tomto případě dojde v okamžiku přerušení ke ztrátě dat, což se dá přirovnat k hodinové práci, po kterou byla tato data do počítače ukládána [5].

c) Výrobní plastů

Zde dochází k velkým hospodářským škodám a nákladům na obnovení provozu. Protože roztavený materiál po přerušení dodávky začínají chladnout, může být obnovení provozu otázka celého dne, po který se musí čistit usazeniny a odstranit ztvrdlý materiál [5].

d) Domácnost

U této kategorie odběratelů se škody moc nedají spočítat, spíše se jedná o uspokojení životních potřeb – přednastavení digitálních hodin, vypnutí počítače, televize [5].

3.5 Metody výpočtu spolehlivosti

Metody pro odhad spolehlivosti lze rozdělit na dvě základní skupiny. A to na **metody analytické**, mezi které patří například metoda spolehlivostních schémat – sériový a paralelní spolehlivostní systém viz kap. 3.7.1 a 3.7.2 a **metody simulační** obvykle vycházející ze simulace Monte Carlo [6].

Za použití obou metod jsou jednotlivé prvky zkoumané soustavy nahrazovány dvěma stavy – „porucha“ a „provoz“. Téměř vždy se předpokládá, že se všechny prvky provozují v období normálního využívání a mají stejnou intenzitu poruch po celou dobu simulace. Dále se předpokládá, že doba do poruchy je spojitá náhodná veličina T , která může nabývat hodnot $t \in (0; \infty)$ a má exponenciální rozdělení, kterému odpovídá distribuční funkce [6]:

$$F(t) = P(T \leq t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (3.10)$$

Distribuční funkce odpovídá pravděpodobnosti, takže porucha nastane do doby t . Takovou pravděpodobnost poruchy budeme dále označovat jako Q , jelikož může být závislá na čase tak $Q(t)$. pak můžeme psát [6]:

$$R(t) = 1 - Q(t) = e^{-\lambda t} \quad (3.11)$$

Uvedený předpoklad exponenciálního rozdělení doby do poruchy resp. konstantní intenzita poruch nemusí být vždy korektní a je potřeba korektnost ověřit analýzou dat za dostatečně dlouhý časový interval. Doba opravy je spojitá náhodná veličina T_{opr} nabývající hodnot $t_{opr} \in (0; \infty)$. A existují pro ni různá teoretická rozdělení, např. exponenciální, logaritmicko-normální, Weibullovo, Gama apod. Dalším obvyklým předpokladem při odhadu spolehlivosti je, že jsou uvažované jevy považovány za nezávislé. Potom je pravděpodobnost nastoupení dvou jevů současně rovna součinu pravděpodobností nastoupení jednotlivých jevů [6].

3.5.1 Metoda spolehlivostních schémat

Mezi velmi frekventovaně používané analytické metody patří metoda spolehlivostních schémat, která spočívá v sestavení spolehlivostního schématu, přiřazení spolehlivostních veličin k jednotlivým prvkům tohoto schématu a v následném zjednodušování spolehlivostního schématu do jediného prvku. Metoda spolehlivostního schématu je obdobou metody postupného zjednodušování známou z teoretické elektrotechniky. To je zřejmě jedním z důvodů, společně s její celkovou jednoduchostí, proč je tato metoda často používána pro odhad spolehlivosti

elektrických sítí. Užitím metody spolehlivostních schémat při analýzách spolehlivosti distribučních sítí je možné určit základní ukazatele spolehlivosti ve všech uzlech sítě. Z nich pak lze vypočítat i systémové ukazatele spolehlivosti. Získáváme tak ovšem pouze střední hodnoty požadovaných ukazatelů. Získání rozdělení ukazatelů totiž bývá při analytickém řešení v případě komplikovanějších a rozsáhlejších sítí velmi obtížné nebo nemožné. Přitom znalost rozdělení spolehlivostních ukazatelů je velmi důležitým podkladem při plánování a rozvoji distribučních sítí, ale i při připojování nových odběratelů citlivých na přerušení v dodávce [6].

3.5.1.1 Sériový spolehlivostní model

Systém s prvky spojenými v sérii bude v bezporuchovém stavu pouze tehdy, budou-li všechny jeho prvky v bezporuchovém stavu. Porucha jednoho prvku systému vede k poruše celého systému. Spojením prvků v sérii máme na mysli logické funkční spojení, které nemusí nutně odpovídat fyzickému uspořádání. Předpokládáme, že poruchy jednotlivých prvků jsou nezávislé. Uvažujme systém s dvěma prvky zapojenými v sérii, jejichž pravděpodobnosti bezporuchového stavu jsou R_1 a R_2 . Systém bude v bezporuchovém stavu, pokud nastane jev spočívající v bezporuchovém stavu prvku 1 a současně nastane jev spočívající v bezporuchovém stavu prvku 2. Podle počtu pravděpodobnosti je tedy pravděpodobnost bezporuchového stavu systému R rovna součinu pravděpodobností jevů, které mají nastat současně [6].

$$R = R_1 \cdot R_2 \quad (3.12)$$

Pro systém s více prvky řazenými sériově lze zobecnit [6]:

$$R = \prod_i R_i \quad (3.13)$$

V praxi uvažujeme, že pravděpodobnost bezporuchového stavu (provozu) prvku je závislá na čase. V případě dvouprvkového systému: $R_1(t)$ a $R_2(t)$. Tuto časovou závislost je třeba promítnout do rovnice 3.12, resp. 3.13. Pokud mají doby do poruchy obou prvků exponenciální rozdělení s parametry λ_1 a λ_2 viz. rovnice 3.11, má také doba do poruchy celého systému exponenciální rozdělení, neboť [6]:

$$R(t) = R_1(t) \cdot R_2(t) = e^{-\lambda_1 t} \cdot e^{-\lambda_2 t} \quad (3.14)$$

Parametrem tohoto výsledného rozdělení je součet parametrů rozdělení jednotlivých prvků $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2$. Pro systém s více prvky můžeme obecně psát [6]:

$$R(t) = e^{-\sum_i \lambda_i t} \quad (3.15)$$

Uvažujeme-li exponenciální rozdělení doby do poruchy, je tedy možné snadno získat výslednou intenzitu poruch pro sériový spolehlivostní systém jako součet intenzit poruch jednotlivých prvků systému [6].

$$\lambda = \sum_i \lambda_i \quad (3.16)$$

Případ sériového řazení prvků se velmi často vyskytuje v distribučních sítích VN, které jsou obvykle provozovány jako radiální. Pro výslednou intenzitu poruch vybraného vývodu, který tvoří U v sérii zapojených úseků vedení s intenzitami poruch λ_u , pak můžeme psát [6]:

$$\lambda_{vývodu} = \sum_{u=1}^U \lambda_u \quad (3.17)$$

V případě distribuční sítě k celkovému počtu poruch v síti přispívají zejména jednotlivá vedení. Vliv poruch vypínačů a ochran je poměrně malý. Dříve byl poměrně rozšířený předpoklad, že intenzita poruch vedení je přímo úměrná délce vedení tzn. čím delší je vedení, tím větší je pravděpodobnost poruchy). Intenzita poruch jednotlivých úseků vedení λ_u se pak následně vyjadřovala pomocí měrné poruchovosti λ_k tj. intenzity poruch vztažené na jednotku délky a délky příslušného úseku l_u [6].

$$\lambda_u = \lambda_k \cdot l_u \quad (3.18)$$

Přitom měrná poruchovost λ_k se stanovila na základě poruch všech úseků vedení daného typu v určené oblasti jako [6]:

$$\lambda_k = \frac{\sum_{u=1}^{U_{celk}} n_{s,u}}{T_s \sum_{u=1}^{U_{celk}} l_u} \quad (3.19)$$

kde $n_{s,u}$ je počet poruch na u -tém úseku za dobu sledování T_s a U_{celk} je celkový počet úseků vedení daného typu v určené oblasti. Pro jiné prvky sítě se určuje intenzita poruch z celkového počtu poruch prvků daného typu za dobu sledování, počtu těchto prvků v určené oblasti a doby sledování [6].

Současné poznatky ze spolehlivostních analýz dlouhodobých časových řad záznamů o poruchách v kabelových i venkovních sítích přístup s měrnou poruchovostí nepodporují. Existují venkovní vedení, která jsou totožného typu a mají zhruba stejnou délku, ale počty poruch na nich za období 10 let se výrazně liší i řádově. Jsou známy i případy, kdy dvě vedení procházejí souběžně po stranách údolí a přitom jejich poruchovost resp. spolehlivost je v dlouhodobém pohledu velmi odlišná. Poruchovost venkovních vedení je totiž zhruba z 80 % až 90 % ovlivňována vnějšími vlivy. Uplatňuje se totiž působení atmosférických vlivů i lokalita, kterou je vedení trasováno – lesní porosty, náročný terén, pole apod. Pokud to databázové záznamy o poruchách umožňují, lze odhalit, že některé úseky venkovních vedení jsou zatíženy poruchami více než ostatní. Podobné efekty jsou vidět i u úseků sítí kabelových. Poruchovost vedení je tedy vhodnější diferencovat na základě pozorovaného počtu poruch v delším, např. desetiletém období, než na základě délky vedení [6].

3.5.1.2 Paralelní spolehlivostní model

Prvky tvoří paralelní spolehlivostní systém, pokud porucha systému nastane až při poruše všech jeho prvků. Pravděpodobnost poruchy systému Q je proto součinem pravděpodobností poruch jednotlivých prvků Q_1, Q_2, \dots, Q_i [6].

$$Q = \prod_i Q_i \quad (3.20)$$

Pravděpodobnost bezporuchového stavu vypočteme z Q jako doplněk do 1 (nikoliv součinem R_i) [6].

$$R = 1 - Q = 1 - \prod_i Q_i \quad (3.21)$$

Jsou-li pravděpodobnosti poruchy jednotlivých prvků Q_i funkcí času, je i výsledná pravděpodobnost Q funkcí času [6].

$$Q(t) = \prod_i Q_i(t) \quad (3.22)$$

Ovšem neplatí, že při exponenciálním rozdělení dob do poruchy jednotlivých prvků má také Q exponenciální rozdělení. To je vidět i na jednoduchém příkladu paralelního systému se dvěma prvky [6]:

$$Q(t) = Q_1(t) \cdot Q_2(t) = (1 - e^{-\lambda_1 t}) \cdot (1 - e^{-\lambda_2 t}) = 1 - e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t} + e^{-(\lambda_1 + \lambda_2) \cdot t} \quad (3.23)$$

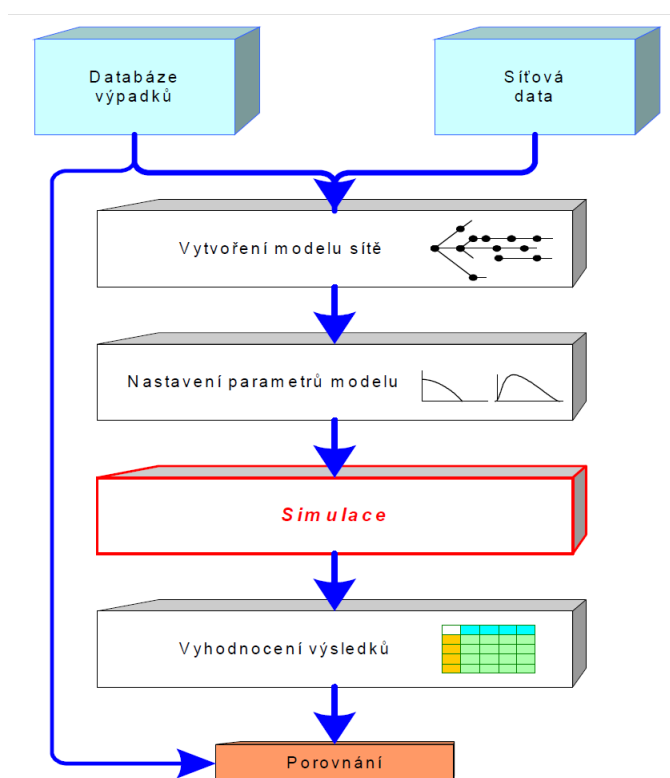
3.5.2 Metody simulační – Monte Carlo

Simulační metody typu Monte Carlo využívají možnosti generovat počítačem náhodná (přesněji pseudonáhodná) čísla z různých rozdělení. Nejčastěji se setkáte s generátory náhodných čísel z rovnoměrného rozdělení na intervalu $<0; 1>$. V Statistics Toolboxu Matlabu můžeme ale nalézt generátory pro mnoho jiných rozdělení, mimo jiné pro všechna rozdělení, která byla v předcházejících kapitolách zmíněna v souvislosti se spolehlivostí distribučních sítí. S pomocí odpovídajícího generátoru tak lze uměle simulovat realizace náhodné veličiny. Je-li dán model, odrážející vnitřní vazby reálného systému, jehož alespoň jeden vstupní parametr má charakter náhodné veličiny, má i výstup náhodný charakter. V mnoha situacích může být získání analytického vztahu pro takovýto výstup, zvláště má-li náhodný charakter více vstupních parametrů, obtížné, přitom lze výstup pro určitou kombinaci vstupních parametrů – náhodných veličin poměrně snadno vyčíslit. V těchto situacích nachází uplatnění metoda Monte Carlo [6].

Obecně: jsou generovány náhodně hodnoty vstupních veličin (mající náhodný charakter) podle zadaných rozdělení a pro každou takto získanou kombinaci vstupů je vypočtena výsledná

hodnota. Tento pokus je opakován až do získání statisticky významného (pro danou přesnost dostačujícího) souboru výstupních hodnot. Statistické vyhodnocení výstupu představuje žádané výsledky celé simulace. Výsledkem je nejen průměrná hodnota výstupní veličiny, ale i její rozdělení a další charakteristické hodnoty. Vyhodnotit lze např. také počty překročení limitů hodnocených po letech, to metoda spolehlivostních schémat nemůže poskytnout. Přestože je simulační výpočet časově náročnější, poskytuje v případě, že se neomezíme pouze na výpočet průměrných hodnot, široké spektrum cenných a prakticky využitelných výsledků. V případě spolehlivosti elektrických sítí se simulace v některých detailech od obecného postupu metody Monte Carlo mírně liší. Existují dvě varianty simulace[6]:

- sekvenční simulace
- nesekvenční simulace



Obr. 3-3 Proces simulace spolehlivosti distribuční sítě [6]

Grafické znázornění simulace je vyobrazeno na obr. 3-3, jako vstupní data pro simulaci slouží:

- **databáze poruch**, která obsahuje záznamy o jednotlivých poruchách a výpadcích, vč. jejich přiřazení k prvku sítě, na kterém se porucha vyskytla, času a data vzniku, příčiny a dob trvání přerušení dodávky, která ji způsobila, apod. [6],
- **síťová data** – tj. data o topologii simulované sítě, simulované prvky sítě a vazby mezi nimi, vč. informací o umístění ochran a připojení odběratelů [6].

Na základě těchto dat je vytvořen spolehlivostní model sítě a jsou také nastaveny parametry tohoto modelu. Pro nastavení parametrů modelu jsou užity principy a postupy matematické statistiky, která udává návod, jak vybrat nejvýstižnější rozdělení a jak vypočítat jeho parametry. Po provedené simulaci jsou její „surové“ výsledky vyhodnoceny. Pro ověření korektnosti použitých rozdělení by mělo následovat porovnání výsledků s pozorovanými hodnotami[6].

3.6 Metody získávání vstupních údajů pro výpočet

Metodika pro získávání vstupních dat jsou velmi rozličné a vycházejí z druhu zkoumaného objektu a z dostupných informací o daném objektu [5].

Metody pro získání vstupních informací jsou popsány v kapitolách 3.8.1, 3.8.2, 3.8.3 a 3.8.4

3.6.1 Apriorní spolehlivost

Vstupní údaje jsou dány předem. Ze znalostí možných stavů daného objektu se vyjádří pravděpodobnost bezporuchového chodu. Apriorní spolehlivost prvků elektroenergetického rozvodu nebo systému je provozní spolehlivost prvku při jeho uvedení do provozu, která je určena, aniž by byly známy údaje o poruchách jednotlivých prvků nebo jiné provozní spolehlivostní údaje stejného typu. Jedná se o určení spolehlivostních veličin přímo z katalogu výrobce. To znamená, že jen z údajů výrobce by bylo možno určit vhodnou dobu mezi revizemi, intenzitu poruch apod. Komplexní výzkum v této oblasti podle dostupných zdrojů dosud nebyl prováděn. Otázka apriorní spolehlivosti prvků elektroenergetické soustavy nemůže být řešena obecně pro prvky celé soustavy, protože každý prvek má jinou distribuční funkci, jinou konstrukci a jiný význam. Proto je potřeba problematiku apriorní spolehlivosti řešit pro každou část elektroenergetického zařízení jednotlivě. Nesprávná vstupní data vedou jednoznačně k chybným výsledkům i za použití vhodné výpočtové metody. V mnoha případech výpočtů v oblasti elektroenergetiky však stojíme před problémem, že není k dispozici dostatečný počet údajů o daném objektu, např. málo historických údajů o poruchách. V těchto případech můžeme použít i přibližné vstupní spolehlivostní údaje, ale výsledky spolehlivostní analýzy pak může sloužit pouze ke srovnání jednotlivých variant, např. zapojení sítě, s tím, že stejné vstupní spolehlivostní údaje budou použity pro spolehlivostní výpočet všech variant výpočtu [5].

Pro získávání vstupních údajů pro spolehlivostní analýzu se prakticky vždy používá empirická metoda, protože použití apriorních metod vyžaduje rozdílný přístup ke každému prvku elektroenergetické soustavy. Empirické metody ovšem vyžadují přesné záznamy o výpadcích a poruchách. Aby byla daná poruchová databáze statisticky významná, vyžaduje to většinou mít k dispozici údaje o poruchách za mnoho let pozpátku. Z analýzy těchto databází lze pak stanovit základní spolehlivostní údaje jednotlivých prvků [5].

Pro intenzitu poruch je možno napsat následující vztah [5]:

$$\lambda = \frac{N}{Z \cdot X} \quad (\text{rok}^{-1}) \quad (3.24)$$

Kde

N	počet poruch (-)
Z	počtů prvků příslušného typu v síti (-)
X	délka sledovaného období (rok)

Pro intenzitu poruch vedení platí [5]:

$$\lambda = \frac{N}{L \cdot 0,01 \cdot X} \quad (\text{rok}^{-1} / 100 \text{ km}) \quad (3.25)$$

Kde

L	délka vedení příslušného typu (km)
-----	------------------------------------

Pozn. Uvedený vztah platí pouze za předpokladu rovnoměrného rozdělení četnosti poruch na jednotku délky vedení

Pro střední dobu poruchy lze psát [5]:

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^N \tau_i}{N_P} \quad (h) \quad (3.26)$$

Kde

N_P	počet poruch prvku příslušného typu (-)
τ_i	doba poruchy prvku příslušného typu (h)

Pozn. střední doby poruch a intenzity poruch jednotlivých prvků pro stejný spolehlivostní výpočet je nutno brát z analýzy téže poruchové databáze [5].

3.6.2 Empirická spolehlivost

Vstupní údaje pro výpočet spolehlivostní analýzy jsou získány z údajů o činnosti daného zařízení, nebo obdobného zařízení, které se provozuje v obdobných podmínkách. Pro empirickou spolehlivost je potřeba mít k dispozici údaje o chodu a poruchách prvků, které se ve spolehlivostním schématu vyskytují nebo údaje o prvcích totožného typu, které pracují ve stejných nebo podobných provozních podmínkách. Čím je tato informační databáze rozsáhlejšího charakteru, tím jsou údaje z ní získané pravděpodobnější. Pro prvky elektroenergetické soustavy to znamená mít údaje o poruchách transformátorů, vypínačů, vedení, odpínačů, atd. dle napětové hladiny a konkrétního typu prvku. Je ovšem nutno mít taktéž údaje o počtu a rozsahu zkoumaného zařízení. Nejde tedy pouze o údaj např. o počtu poruch a střední době poruchy vedení daného typu a dané napětové hladiny, ale také o údaje o celkovém rozsahu sledovaného zařízení, tedy v tomto případě o celkové délce vedení daného typu a napětové hladiny. Sledování

poruchovosti elektroenergetické soustavy je tedy základem pro výpočet její empirické spolehlivosti [5].

3.6.3 Získávání dat z poruchových databází

V bývalém Československu se začalo o spolehlivosti elektroenergetické soustavy hovořit až v průběhu 60. let minulého století. Přelomem ve sledování spolehlivosti byl rok 1974, kdy vyšla „Provozně technická pravidla ČEZ a SEP 2/74“. Tato pravidla sjednotila sledování poruch, výpadků a porušených prvků pro všechny rozvodné závody v celém Československu. Od roku 1975 začala vznikat exkluzivní databáze poruch a výpadků. Pro Českou republiku spravoval tuto databázi ORGREZ. Technická stránka této databáze byla platná v době jejího vzniku, jednotlivé údaje vyplňovali pracovníci pracně ručně do jednotných formulářů podle jednotných číselníků. Celková databáze následně byla ukládána ve formě textových souborů. To samozřejmě ztěžovalo práci s databází, jednotlivé výběry byly velmi zdoluhavé a mnoho zpracování se muselo dělat ručně z jednotlivých tiskových sestav, např. stanovení středních dob poruch. Přesto tato databáze byla, a je velmi cenným podkladem pro určování spolehlivosti. Bohužel s rokem 1990 a společenskými změnami tato databáze přestala být plněna daty a jednotlivé rozvodné podniky získaly samostatnost a od počátku 90. let minulého století začaly zavádět vlastní systémy sledování spolehlivosti. Společná databáze nebyla dále tvořena a provozována. Dosud se pro spolehlivostní výpočty používají vstupní údaje, které vychází z přílohy vyhlášky 22/80 ČEZ, viz tabulka 3-1. Je jasné, že tyto údaje jsou již zastaralé a je nutné je aktualizovat [5].

Prvek	Napětí (kV)	λ_P (rok ⁻¹)	τ_P (h)	λ_U (rok ⁻¹)	τ_P (h)
Transformátor	400 / 220	0,04	300	1	360 (120)
	400 / 110	0,1	6500	1	240
	220 / 110	0,02	30	1	360 (120)
	110 / vn	0,04	1300	1	120
	vn / nn	0,03	2500	1	60
Venkovní vedení	400	1,6 / 100 km	7	1	1,7 / km
	220	2,3	6	1	2
	110	5,2	3,5	1	4
	22	14,0	3	1	2
Kabelové vedení	110	2 / 100 km	50	0	0
	22	14,5	215	0	0
Vypínač (vývod)	400	0,015	250	1	360 (36)
	220	0,012	150	1	120 (36)
	110	0,010	100	1	60 (30)
	22	0,015	30	1	16 - skříň 10 - kobka

Pozn.: Údaj v závorce u transformátorů platí, je-li k dispozici náhradní jednotka.

Údaj v závorce u vypínačů platí, je-li pomocná přípojnice.

Tab. 3-1 Vstupní spolehlivostní hodnoty podle 22/80 ČEZ [5]

Při použití vstupních údajů o spolehlivosti z tab. 3-1 je nutno však brát v úvahu fakt, že údaje pro kabelové vedení vycházejí z předpokladu, že kabely jsou uloženy v zemi a při likvidaci poruch se předpokládají výkopové práce. Tyto údaje tedy rozhodně nelze použít pro kabely, které jsou uloženy v kolektorech na kabelových lávkách [5].

Od roku 1999 byla stanovena metodika shromažďování dat od jednotlivých distribučních společností do jednotné databáze, která ve je umístěna a spravována na vědeckém pracovišti elektroenergetické katedry VŠB – TU Ostrava, kde je rovněž zpracovávána prvková spolehlivost [5].

Databáze do roku 2005 obsahuje přes 400 tis. záznamů na napěťových hladinách 110 kV, VN a částečně i NN. Z analýzy databáze je znám počet poruch za sledované období. Sledované období se obvykle volí podle konkrétních požadavků výpočtu spolehlivosti. K výpočtu intenzity poruch je nutné taktéž znát počet prvků daného typu v dané oblasti, jejíž poruchovost byla sledována. To je další velmi důležitý vstupní údaj pro výpočet intenzity poruch, který je možné obvykle získat ze zařízení dané organizace. Pro určování vstupních spolehlivostních parametrů je ovšem nutné předpokládat, že počty prvků daných typů se v síti nemění za sledované období. Tento předpoklad platí v praxi jen přibližně. Protože u poruch jednotlivých prvků jsou k dispozici údaje o výrobcí a roku výroby, je možné vyhodnocením poruchové databáze odhalit např. série výrobků, kde je zvýšená poruchovost a zřejmě tedy došlo k výrobní vadě. Rovněž tuto situaci je možno odhalit pouze z rozsáhlé databáze, nikoli z databáze jediného REAS. Vyhodnocení vadné série může včas varovat jednotlivé distribuční společnosti a zabránit tak zbytečným investičním ztrátám, nebo se tak vyhnout zdlouhavému reklamačnímu procesu [5].

Protože z analýzy databází bude možno provést i lokalizaci jednotlivých porušených prvků, popř. prvků, které způsobily výpadek, bude možno najít tzv. **nebezpečné zóny**. Jedná se o lokality např. se zvýšenou bouřkovou činností, horské oblasti, o průseky v lesích atd. Na tyto lokality se pak bude možno zaměřit při plánování investičních akcí. Jedná se o použití izolovaných vodičů, instalaci bleskojistek atd. [5]

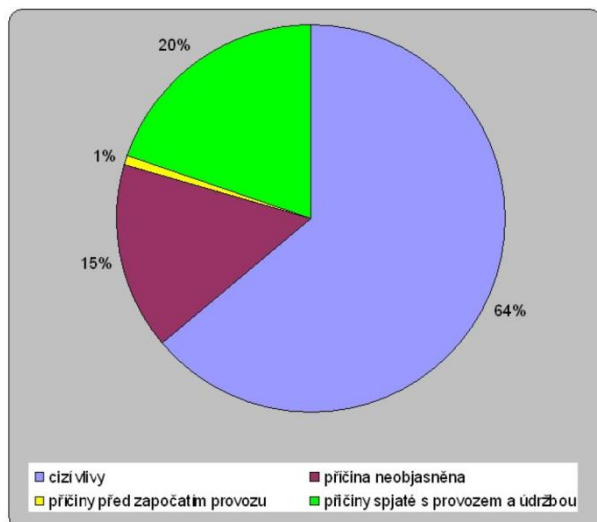
Vyhodnocením této databáze bude v dohledné době možno nahradit (zpřesnit) vstupní spolehlivostní koeficienty a tak postupně nahradit údaje z 22/80 ČEZ. Pro některé typy prvků jsou nové spolehlivostní údaje k dispozici v tab. 3-2 [5]

Poškozené zařízení		ČEZ	Nová databáze
		22/80	2000 - 2005
Kabel 22 kV	λ (rok-1)	14,5	4,839
	τ (h)	215	80,693
Vodič 22 kV	λ (rok-1)	14	3,623
	τ (h)	3	18,759
Vodič 110 kV	λ (rok-1)	5,2	0,282
	τ (h)	3,5	3,155
Transformátor vn / nn	λ (rok-1)	0,03	0,008
	τ (h)	2500	12,911
Transformátor 110 kV / vn	λ (rok-1)	0,04	0,048
	τ (h)	1300	74,892
Vypínač výkonový 22 kV	λ (rok-1)	0,015	0,006
	τ (h)	30	40,744
Vypínač výkonový 110 kV	λ (rok-1)	0,01	0,012
	τ (h)	100	60,649

Tab. 3-2 Nové spolehlivostní parametry ve srovnání s hodnotami ČEZ 22/80 [5]

Jedná se prozatím o předběžné výsledky, neboť u vyhodnocování prvkové spolehlivosti se dosud vychází z databází, které stále ještě nemají dostatečnou statistickou významnost. Předpokladem je, že statistické významnosti dosáhnou databáze zhruba po 10–ti letech společného plnění [5].

Důležitým výsledkem společné analýzy dat je rovněž srovnání počtu poruch s různými příčinami za celé sledované období zobrazené na obrázku 3-4.



Obr. 3-4 Grafické rozdělení událostí podle příčiny vzniku [5]

3.6.4 Vstupní spolehlivostní údaje z kvalifikovaného odhadu

Klasický přístup k empirické spolehlivosti představuje vyhodnocení mnohaleté databáze výpadků a poruch s použitím údajů zdokumentovaného zařízení. Výsledkem takovéto analýzy jsou pak spolehlivostní vstupní údaje, které z těchto databází vyplývají. Tyto údaje většinou nejsou časově závislé, protože ve většině případů nejsou k dispozici údaje o stáří porušených prvků. Někdy je ovšem také požadována časová závislost spolehlivosti. Při zvolené metodě spolehlivostních schémat to znamená mít k dispozici časovou závislost vstupních spolehlivostních údajů. Tento případ spolehlivostních výpočtů nebyl dosud při podobných spolehlivostních výpočtech použit [5].

4 ZHODNOCENÍ PROBLÉMŮ PŘI POROVNÁNÍ HODNOT SPOLEHLIVOSTI DISTRIBUČNÍCH SÍTÍ

Srovnávání spolehlivosti distribučních sítí je pečlivě sledován nejen managementem distribučních společností, ale i regulačními úřady a řadou nadnárodních sdružení zabývajících se distribucí elektrické energie. Porovnávání spolehlivosti těchto sítí však sebou nese řadu obtíží. Závažnost některých problémů, které při určitých způsobech srovnávání vznikají, nabývá významu zvláště v případech, kdy je srovnávání součástí regulačních mechanismů. Jedná se tedy o situace, ve kterých způsob sběru dat o spolehlivosti distribučních sítí, jejich vyhodnocování a následné porovnání v rámci určité země přímo ovlivňuje hospodaření distribučních společností [7].

Po zobecnění lze problémy při porovnávání spolehlivosti rozdělit do dvou základních problémů [7]:

- vyhodnocování a ukládání dat o poruše
- typ sítě a její vystavení vnějším vlivům

Je patrné, že první uvedená oblast obsahuje potíže vyplývající z nejednotnosti používaných metodik. Tyto potíže vystupují v současné době do popředí při některých snahách o porovnávání spolehlivosti distribučních sítí mezi jednotlivými zeměmi. Problémy související s ukládáním dat o výpadcích, jimiž příčinou jsou zejména různé metodiky a nejednotnosti mezi jednotlivými distribučními společnostmi. Tyto nejednotnosti můžeme rozdělit do několika kategorií [7]:

- klasifikace přerušení podle délky jejich trvání - přechodné, krátkodobé, dlouhodobé
- klasifikace přerušení na plánované a neplánované
- napětíové hladiny zahrnuté do hodnocení
- vyjímání výjimečných přerušení - přerušení „z vyšší moci“
- období, za které se vyhodnocení provádí
- rozsah přerušení - počet postižených odběratelů nebo jeho odhad
- metoda výpočtu srovnávaných ukazatelů

Rozdělení výpadků dle dob jejich trvání je dáno platnou evropskou normou EN 50 160, která rozlišuje přerušení na **krátkodobá** a **dlouhodobá**, kdy krátkodobá jsou přerušení do 3 minut a dlouhodobá jsou přerušení nad 3 minuty. Ačkoliv valná většina zemí sdružených v Radě evropských energetických regulátorů CEER toto rozdělení respektuje, jsou státy, které vykazují přerušení delší než 1 min jako dlouhodobé, např. Irsko, dříve i Velká Británie. Jsou země, jako Finsko, Francie, Velká Británie, Maďarsko, Itálie a Norsko, monitoruje v distribučních sítích i dobu přerušení s intervalem kratším než 3 minuty. Některé další země o tomto kroku v důsledku nárůstu množství citlivých zařízení a technologií na krátké výpadky u odběratelů uvažují. Maďarsko a Itálie dokonce rozlišují přechodná přerušení do 1 min a přerušení krátkodobá, která jsou v intervalu jedné a tří minut. Ovšem zaznamenáváme-li i krátkodobá přerušení, je nutné zavést směrnice ošetřující případy různě dlouhých přerušení následujících v kratších intervalech za sebou. Tato okolnost je ošetřena při sběru dat jen v některých zemích, a to ještě různým způsobem [7].

Přestože je potřeba evidovat veškeré výpadky v síti, jsou při hodnocení vyjímána určitá rozsáhlá přerušení, jako jsou kalamity, které byla zapříčiněna mimořádně nepříznivými vnějšími vlivy - přírodními pohromami, silnými vichřicemi nebo rozsáhlým výskytem námrazy, teroristickými útoky nebo stávkami, atd., a na které není možné zařízení sítě vhodně navrhovat. Ve způsobech vyjímání a posuzování těchto přerušení existují odlišnosti. V některých zemích jsou tyto události vyjímány z hodnocení na základě kladného vyjádření regulačního úřadu k žádosti podané distribuční společností např. ve Velké Británii nebo ČR. V jiných zemích jsou automaticky vyjímány události, které postihly mimořádně velký počet odběratelů např. ve Francii – 100 000 odběratelů. V Itálii jsou dokonce používány souběžně dva různé přístupy k vyjímání a distribuční společnosti si volí jeden z nich [7].

Obvykle je porovnání spolehlivosti odlišných distribučních sítí prováděno za pomoci agregovaných ukazatelů, které se snaží charakterizovat spolehlivost celé sítě jediným číslem představujícím určitý průměr hodnot. Žádané porovnání sítí lze pomocí těchto ukazatelů provést velmi snadno prostým porovnáním těchto hodnot. Můžeme tak zkoumané sítě seřadit od sítě s nejnižší hodnotou ukazatele po síť s nejvyšší hodnotou. Uváděné srovnání můžeme nalézt v řadě srovnávacích studií. Díky velmi vysoké míře agregace dat a zprůměrnování ovšem ztratíme spoustu důležitých informací o situaci v dané síti. Nedozvíme se např., jaké části zákazníků se dostává průměrné nepřetržitosti distribuce, jaké jsou poměry u nejhůře zásobovaného zákazníka, jaká část zákazníků má nepřetržitosti distribuce horší než zvolená hodnota. Mít k dispozici i tyto údaje je však důležité. Bez těchto informací nelze provést objektivní porovnání ani nelze přijímat manažerská rozhodnutí. Jak totiž ukazují nejnovější studie spolehlivosti, vykazují z technického pohledu stejné prvky distribučních sítí značně rozdílnou, nehomogenní, spolehlivost [7].

5 SIMULACE VLIVU TYPU SÍTĚ VN NA HODNOTY VYBRANÝCH UKAZATELŮ

5.1 Zadání simulace

Nasimulujte nesequenčně spolehlivost metodou Monte Carlo zadaných sítí, viz obr. 5-1, ve výpočetním programu Matlab a vliv typů sítí na hodnoty vybraných ukazatelů, při programování využijte pouze prostředí samotného Matlabu tzn. pouze „jádra“, nikoliv přídatných toolboxů. Při simulaci předpokládejte, že:

- Poruchovost je v celé kilometráži kabelu konstantní
- Poruchovost je počítána pouze na úsecích a ostatní prvky jsou počítány za bezporuchové
- Poruchy jsou vzájemně nezávislé
- Do počtů výpadků ani do doby trvání poruchy nejsou započítány naplánované práce
- Simulace bude provedena pouze na hladinách VN, chování a poruchovost nadřazené i podřazené sítě je zanedbána a výsledky se budou vztahovat pouze pro zadanou síť.
- Manipulace s odpojovači, odpínači a vypínači v průběhu poruchy zanedbejte

Pro generování počtu poruch použijte Poissonovo rozdělení s parametrem závislým na délce úseku a měrné poruchovosti $\lambda_k = 4 \text{ 1/100km/rok}$, ostatní prvky sítě považujte za bezporuchové. Délky úseků jsou zakresleny v obr. 5-1.

Pro výpočet dob trvání poruch použijte logaritmicko-normální rozdělení s parametry μ a σ . Tyto parametry volte tak, aby v 10kV síti průměrná doba poruchy byla okolo hodnoty 60-ti minut a v 22kV síti byla průměrná hodnota okolo 85-ti minut, dále koeficienty zvolte tak, aby 95-tý percentil byl na hodnotě 110 minut pro 10kV síť, pro 22kV síť na hodnotě 205 minut.

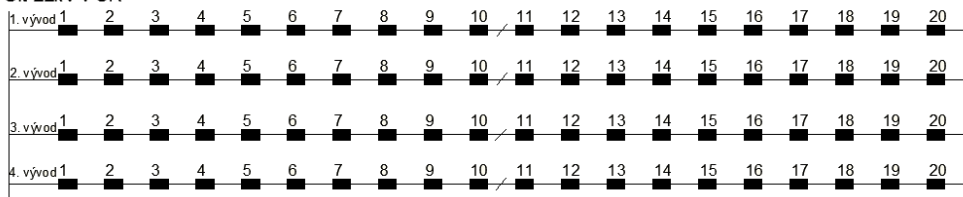
Pro síť 22kV i 10kV dle obr. 5-1 uvažujte, že je kabelová s průřezem Al 120mm², typ AXEKCYY, zkontrolujte dovozené zatížení, je-li jmenovitý výkon distribučních transformátorů (DTS) 630kVA a jsou zatíženy na 65% jmenovitého výkonu. V celé síti jsou zákazníci rovnoměrně rozdělení a na jednu DTsku je připojeno 350 zákazníků.

Kdy pro síť 22kV je vždy 1. DTS vzdálena 100m od rozvodny, jednotlivé distribuční transformátory jsou od sebe vzdáleny 300m a poslední distribuční transformátor od protilehlé rozvodny je vzdálen 100m. Všechny vývody jsou trvale v polovině vývodu rozpojeny.

Pro síť 10kV v lichém vývodu platí, že první DTS je umístěn ve vzdálenosti 100m od rozvodny a následně jednotlivé DTsky jsou od sebe vzdáleny 600m a poslední DTS od protilehlé rozvodny je vzdálena 400m. V sudém vývodu platí, že první DTS je vzdálena od rozvodny 400m a opět vzdálenosti mezi DTskami jsou 600m, přičemž poslední (desátá) DTska je od protilehlé rozvodny vzdálena 100m. Všechny vývody jsou trvale v polovině vývodu rozpojeny.

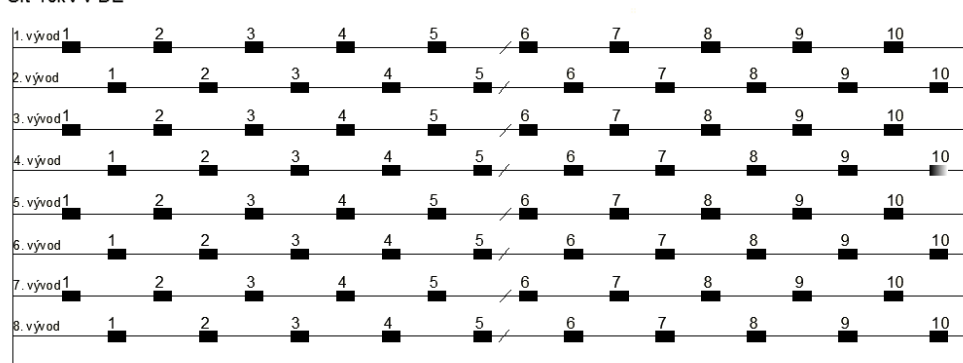
Smyslem zadání je porovnat hodnoty ukazatelů spolehlivosti SAIDI a SAIFI ve dvou odlišných sítích VN, kdy dle srovnávací zprávy CEERu, distribuční společnosti v Německu na 10kV sítích vykazují daleko nižší hodnoty než hodnoty vykazované českými distribučními společnostmi na sítích 22kV, dle [10].

Síť 22kV v ČR



Legenda: ■ - distribuční trafostanice DTS
| - přípojnice 22kV

Síť 10kV v DE



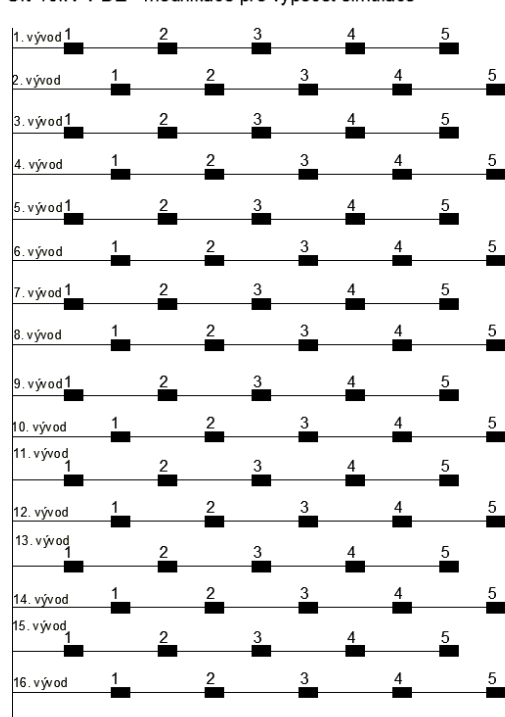
Legenda: ■ - distribuční trafostanice DTS
| - přípojnice 10kV

Obr. 5-1 Schéma zadané sítě 10kV v Německu a síť 22kV v ČR

5.2 Postup řešení

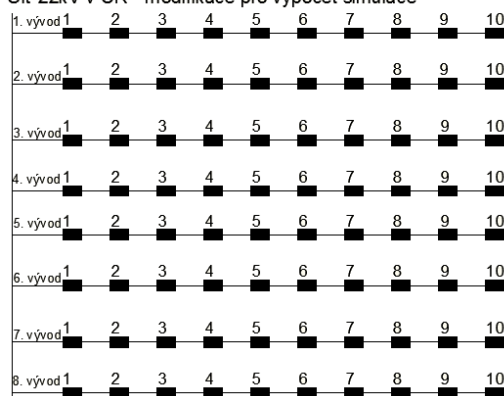
Zadané sítě jsou v polovině provozně rozpojeny, tudíž si je můžeme pro výpočet překreslit na schéma na obr. 5-2

Síť 10kV v DE - modifikace pro výpočet simulace



Legenda: ■ - distribuční trafostanice DTS
| - přípojnice 10kV

Síť 22kV v ČR - modifikace pro výpočet simulace



Legenda: ■ - distribuční trafostanice DTS
| - přípojnice 22kV

Obr. 5-2 Schéma zadané sítě 10kV v Německu a síť 22kV v ČR – modifikované schéma

5.2.1 Kontrola dovoleného zatížení kabelů

- Pro síť 10kV

Je-li v 10kV síti na jednom vývodu umístěno pět DTSek o jmenovitém výkonu $S_n=630\text{kVA}$ se zatížením soudobosti $\beta=65\%$, pak platí vztah pro zatížení vývodu:

$$S = n \cdot S_n \cdot \frac{\beta}{100} = 5 \cdot 630 \cdot 10^3 \cdot \frac{65}{100} = 2047,5\text{kVA} \quad (5.1)$$

Potom pro celkový proud kabelem platí:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{2047,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10^4} = 118,21\text{A} \quad (5.2)$$

Kdy dle přílohy A ze zdroje [9] je $I_{\text{dov}} > I$, přičemž $I_{\text{dov}}=265\text{A}$.

- Pro síť 22kV

Je-li v 22kV síti na jednom vývodu umístěno deset DTSek o jmenovitém výkonu $S_n=630\text{kVA}$ a soudobým zatížením $\beta=65\%$, potom můžeme psát vztah (5.1), ovšem s obměnou:

$$S = n \cdot S_n \cdot \frac{\beta}{100} = 10 \cdot 630 \cdot 10^3 \cdot \frac{65}{100} = 4095\text{kVA} \quad (5.3)$$

Potom pro celkový proud kabelem platí:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{4095 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 22 \cdot 10^3} = 107,47\text{A} \quad (5.4)$$

Kdy dle přílohy B z pramene [9] je $I_{\text{dov}}=265\text{A}$ a je splněna podmínka $I_{\text{dov}} > I$

Postup kontroly dovoleného zatížení kabelů je zpracováno z literatury [1] a [11].

5.2.2 Postup řešení simulace a její výsledky

Postup řešení simulace spočívá v tom, že ve výpočetním programu Matlab jsme za pomoci zadaných rozdělení náhodně vygenerovali počty poruch na jednotlivých úsecích, doby do poruchy a doby trvání poruchy. Způsob, jakým jsme provedli výpočet v Matlabu včetně vyhodnocení si popíšeme v následujících kapitolách.

5.2.2.1 Doba do poruchy t_{dp}

Pro vygenerování dob do poruchy t_{dp} resp. dobu mezi koncem n -té poruchy a začátkem následující poruchy použijeme faktu, že distribuční funkce náhodné veličiny X reprezentuje proměnu této veličiny na veličinu náhodnou R , jenž může nabývat hodnoty z intervalu $<0; 1>$ a má rovnoměrné rozdělení. Distribuční funkce je monotónně rostoucí funkcí a přiřazuje jedné hodnotě x jednu hodnotu $F(x)=r$. Vygenerujeme-li náhodně hodnotu r z intervalu $<0; 1>$, můžeme za pomoci distribuční funkce určit x [6].

Pro náhodnou veličinu s exponenciálním rozdělením, které má distribuční funkci platí [6]:

$$F(x) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda x} & x > 0 \\ 0 & x \leq 0 \end{cases} \quad (5.5)$$

Vypočteme hodnotu x jako [6]:

$$x = -\frac{1}{\lambda} \ln(1 - r) \quad (5.6)$$

Dosazením do předchozí rovnice (5.7) za λ intenzitu poruch daného úseku λ_u [6]:

$$\lambda_u = \lambda_k \cdot l_u \quad (5.7)$$

kde λ_k je měrná poruchovost vedení [1/km/rok] l_u je délka úseku [km] [6].

Do výpočetního programu Matlab jsou tyto zákonitosti zaneseny jednak pomocí podmínky *while*, ale hlavně za pomoci vztahu pro výpočet doby do poruchy t_{dp} (5.6):

```
while sum (n_1) < 1
    gen_doba_1 = -1/lam(k_usek)*log(1-rand(1));
    pom = [pom;gen_doba_1];
    n_1 = [n_1 ; gen_doba_1];
end
```

5.2.2.2 Roční počet poruch na úseku N_u

Pro vygenerování náhodné veličiny N_u s Poissonovým rozdělením použijeme vztah mezi Poissonovým a exponenciálním rozdělením [6].

Cyklicky generujeme hodnoty doby do poruchy t_{dp} a sčítáme je, dokud součet nepřesáhne hodnotu 1, což označuje jeden rok, jelikož měrná poruchovost je zadána počtem poruch za rok, doby do poruchy ukládáme do pomocného vektoru např. n_1 a za pomoci funkce *length* změříme tento vektor (vyjádříme počet dob do poruchy ve vektoru na daném úseku) a tuto hodnotu snížíme o jedničku, protože poslední doba do poruchy v součtu přesáhla jeden rok a už by se odehrála v následujícím roce, ve zdrojovém kódu to vyjadřujeme následovně:

$$nru_1(k_usek, k_rok) = length(n_1) - 1;$$

5.2.2.3 Souhrnná roční doba trvání poruch na úseku t_{spu}

Jelikož výstupem této simulace je mimo jiné i výpočet ukazatele *SAIDI*, je nutné znát doby trvání poruchy v jednotlivých letech a na daných úsecích a vývodech vedení. Tento výpočet provedeme jen na úsecích s počtem poruch vyšším než nula, pro nulový počet poruch by ani nemělo význam počítat dobu trvání poruchy. Jestliže známe počet poruch na daném úseku, např. 3 provedou se tři výpočty dob trvání poruch a ty jsou sečteny a uloženy do matice např. $tsru_1$.

Pro což platí vztah [6]:

$$t_{spu} = \sum_{i=1}^n t_{p,i} \quad (5.8)$$

Při využití vzorce pro transformaci z normálního rozdělení na logaritmicko-normální rozdělení můžeme použít vztah, kde náhodné číslo je generována s normálním rozdělením [6]:

$$t_{p,i} = e^{r \cdot \sigma + \mu} \quad (5.9)$$

kde μ a σ jsou parametry rozdělení logaritmicko-normálního a r je náhodně vygenerované číslo s normálním rozdělením [6].

V Matlabu jsme tyto vztahy nadefinovali takto:

```
if nru_1(k_usek,k_rok) > 0
    tsru_1(k_usek,k_rok)=sum(exp(randn(nru_1(k_usek,k_rok),1)
    *sigma+mi));
else tsru_1(k_usek,k_rok)=0;
end
```

Kde funkce *randn* generuje náhodná čísla a počet těchto čísel je dán hodnotou počtů poruch na úseku a maximální generované číslo může být jednička, čemuž odpovídá druhé číslo v závorce této funkce.

5.2.2.4 Výpočet průměrné doby trvání poruchy na úseku t_{sp}

Vzhledem k tomu parametry μ a σ máme dle zadání zvolit tak, aby průměrná hodnota a 95. percentil dob trvání poruchy pro danou hladinu napětí vycházely dle zadání, je nutné přiřadit do algoritmu ještě jeden cyklus, který prochází matici dob trvání poruch *tsru_1* a vyhledává pouze hodnoty větší než nula. Jelikož matice *tsru_1* obsahuje převážnou část hodnot nulového charakteru, není možné přímo z této matice udělat průměrnou hodnotu doby trvání poruchy, proto se do pomocného vektoru s názvem *A* ukládají tyto hodnoty větší než nula a následně za pomoci funkce *mean* je vypočítán tato průměrná hodnota. Ovšem dle zadání parametry μ a σ musí být nastaveny tak, aby 95. percentil byl opět na zadané hodnotě pro danou napěťovou hladinu, proto si sestojíme graf distribuční funkce pro dobu trvání poruchy, ze kterého následně odečteme onen 95. percentil. V algoritmu jsme tento problém vyřešili následovně:

```
A=[0];
for k_usek=1:pocet_useku

    for k_rok=1:10000;
        if tsru_1(k_usek,k_rok) > 0
            A=[A; tsru_1(k_usek,k_rok)];
        end
    end
end

figure
tsortA=sort(A); %serazení dob do poruchy
length(A) %vypise pocet poruch
prstA=( [1:length(A)]'/length(A));
meanA= mean(A)
stairs(tsortA,prstA); %vykreslení distribuční funkce Tsp
grid on
title('Distribuční funkce doby trvání poruchy');
xlabel('Délka trvání poruchy [min]');
ylabel('Pravděpodobnost výskytu poruchy s T_s_p');
```

5.2.2.5 Výpočet ukazatele průměrné systémové četnosti přerušení SAIFI a průměrné systémové doby trvání výpadku SAIDI

Pro výpočet obou ukazatelů je důležité znát počet odběratelů na jednotlivých odběrech a to je dle zadání na každém odběru stejné a to 350 zákazníku na jedné DTSc. Nadefinování si provedeme následovně pro vývod *l* až *n*:

[illegible]

```

x = subplot(2,2,1);
[c,x]=hist(saifira,krok_saifira/2:krok_saifira:max_saifira);
bar(x,c/(length(saifira)/100),1)
    grid on
    title('Histogram SAIFI');
    xlabel('SAIFI [1/rok]');
    ylabel('Pravděpodobnost výskytů [%]');

x = subplot(2,2,2); stairs(tsort_saifira,pocet_saifira);
    grid on
    title('Distibuční funkce SAIFI');
    xlabel('SAIFI [1/rok]'); ylabel('F(SAIFI) [-]');

%-----
figure %Vykreslení ukazatele SAIDI
y = subplot(2,2,1);
[d,x]=hist(saidira,krok_saidira/2:krok_saidira:max_saidira);
bar(x,d/(length(saidira)/100),1)
    grid on
    title('Histogram SAIDI');
    xlabel('SAIDI [min/rok]');
    ylabel('Pravděpodobnost výskytů [%]');

y = subplot(2,2,2); stairs(tsort_saidira,pocet_saidira);
    grid on
    title('Distibucni funkce SAIDI');
    xlabel('SAIDI [min/rok]'); ylabel('F(SAIDI) [-]');

```

A na závěr vypočteme průměrné hodnoty ukazatelů *SAIFI* a *SAIDI*, s pomocí příkazu průměr *mean*:

```

saifipa=mean(saifira')
saidipa=mean(saidira')

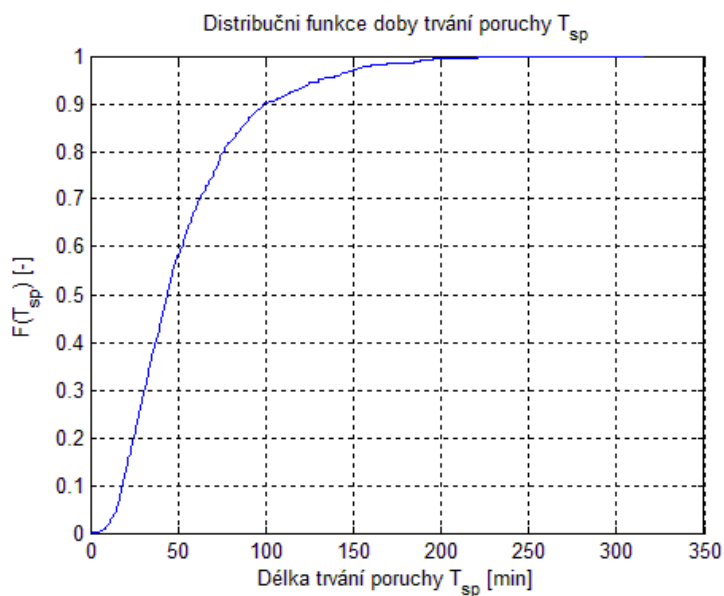
```

Kompletní zdrojový kód M-filu z výpočetního programu Matlab je umístěn v příloze C resp. D pro síť 10kV v Německu, resp. pro síť 22kV v ČR.

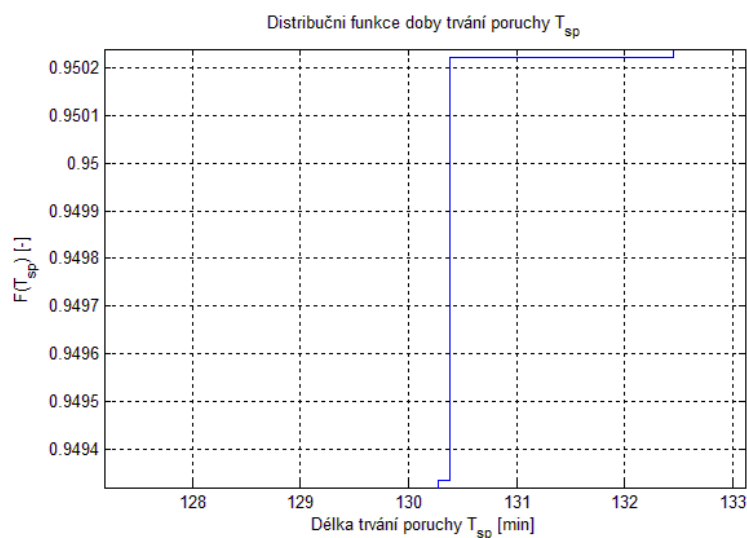
5.2.2.6 Vyhodnocení a výsledky simulace pro jednotlivé napěťové úrovně

a) Pro síť 10kV v Německu

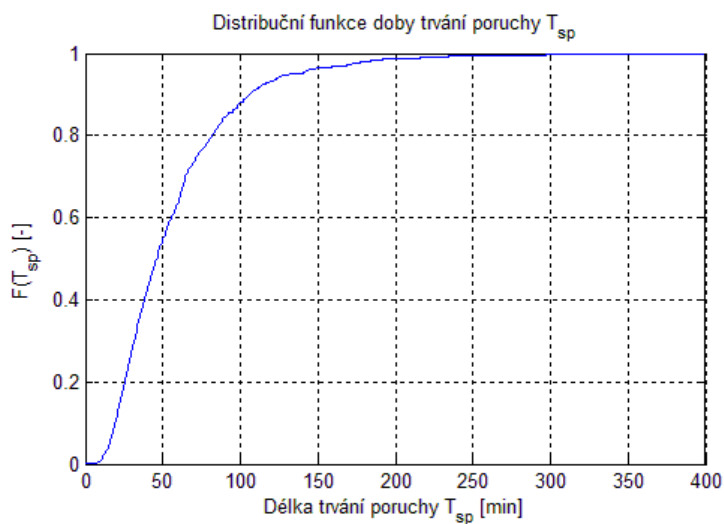
Při zvolených parametrech $\sigma = 0,65$ a $\mu = 3,8$ jsme dospěli k výsledku průměrné doby trvání poruchy na prvním vývodu $t_{sp} = 53,97 \text{ min}$, na druhém vývodu $t_{sp} = 57,19 \text{ min}$ a 95. percentil jsme odečetli z grafu pro první vývod na hodnotě $F(t_{sp})_{0,95} = 130,4 \text{ min}$ a pro druhý vývod $F(t_{sp})_{0,95} = 132,1 \text{ min}$. Výsledky jsou odečítány z prvního a druhého vývodu z důvodu rozdílných délek úseků na těchto a následujících vývodech, ovšem hodnoty jsou si velmi blízké, proto při dalším odečítání budou brány za referenční hodnoty z prvního vývodu. Na obr. 5-3 a 5-4 je vidět distribuční funkce doby trvání poruchy pro první vývod a odečtení 95. percentilu, na obr. 5-5 a 5-6 jsou stejné charakteristiky ovšem pro druhý vývod.



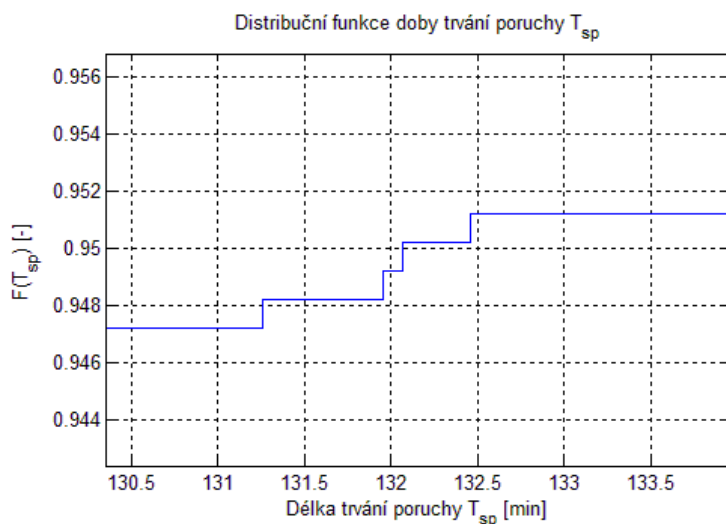
Obr. 5-3 Distribuční funkce doby trvání poruchy t_{sp} - první vývod - síť 10kV Německo



Obr. 5-4 Distribuční funkce doby trvání poruchy t_{sp} - první vývod - síť 10kV Německo – detail zobrazení

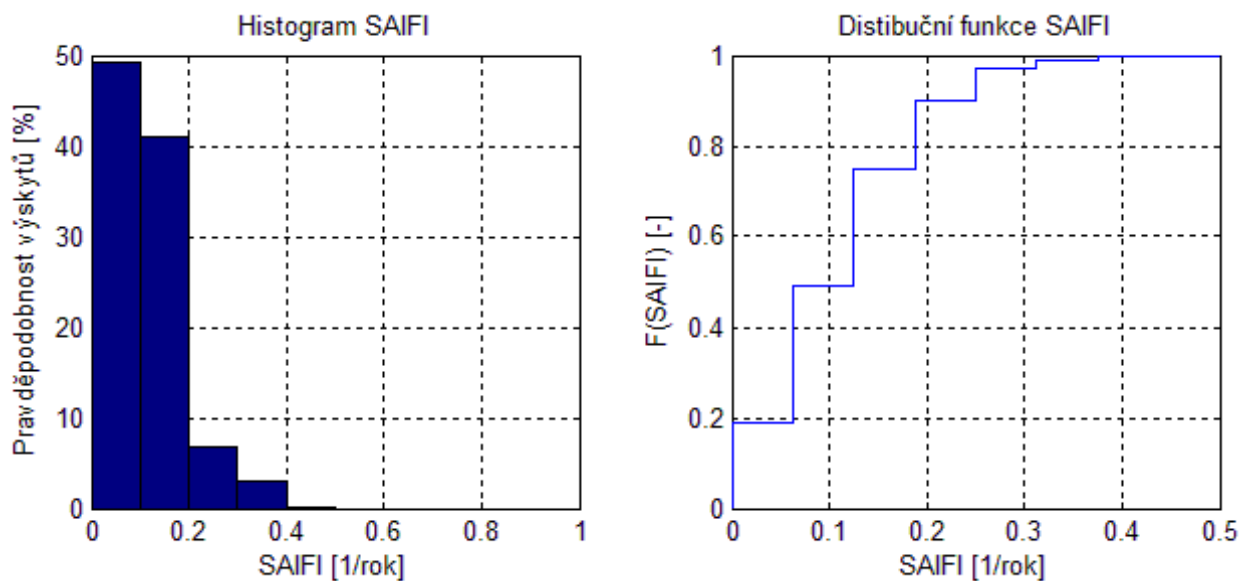


Obr. 5-5 Distribuční funkce doby trvání poruchy t_{sp} - druhý vývod - síť 10kV Německo

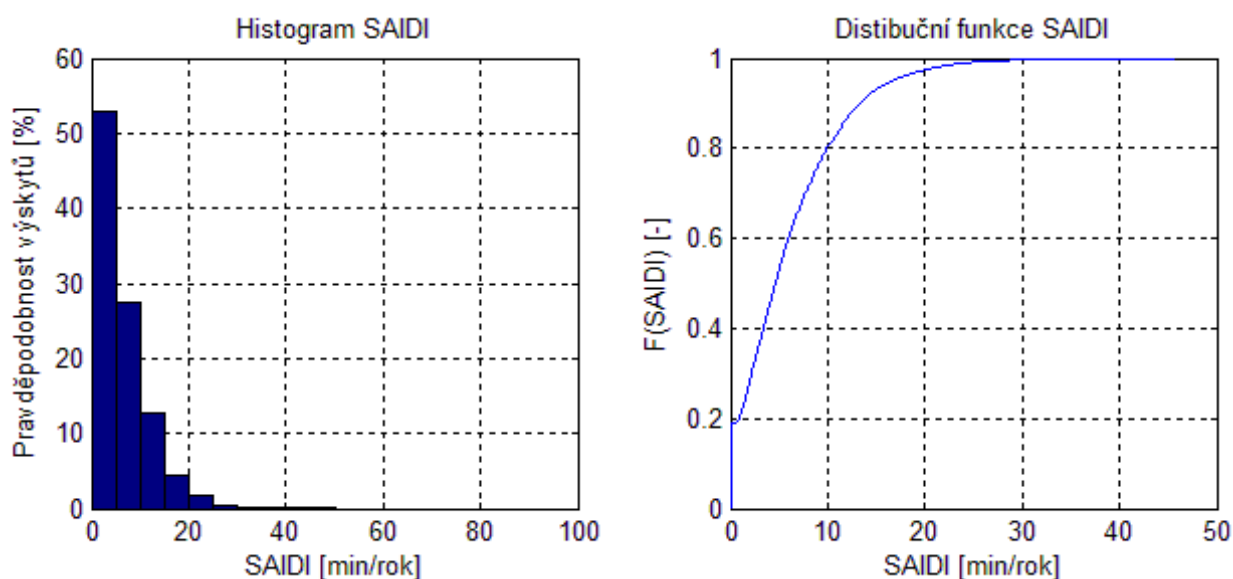


Obr. 5-6 Distribuční funkce doby trvání poruchy t_{sp} - druhý vývod - síť 10kV Německo – detail zobrazení

Dále byly stanoveny agregované ukazatelé *SAIFI* a *SAIDI*, první z nich byl určen s hodnotou 0,107 1/rok a hodnota *SAIDI* byla stanovena na hodnotu 5,9 min/rok. Na obr. 5-7 a 5-8 jsou graficky zpracovány histogramy a distribuční funkce ukazatelů *SAIFI* a *SAIDI*.



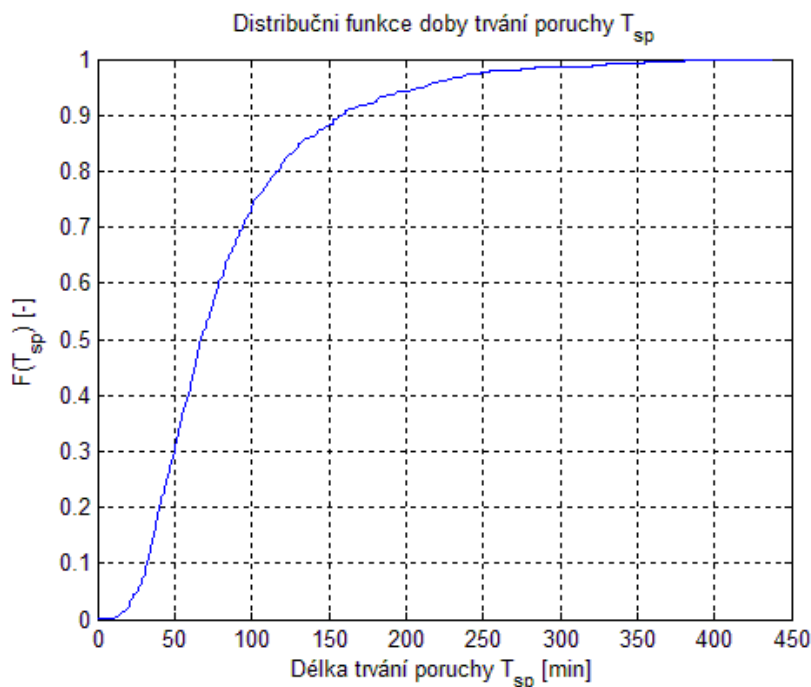
Obr. 5-7 Histogram a distribuční funkce veličiny *SAIFI* – síť 10kV Německo



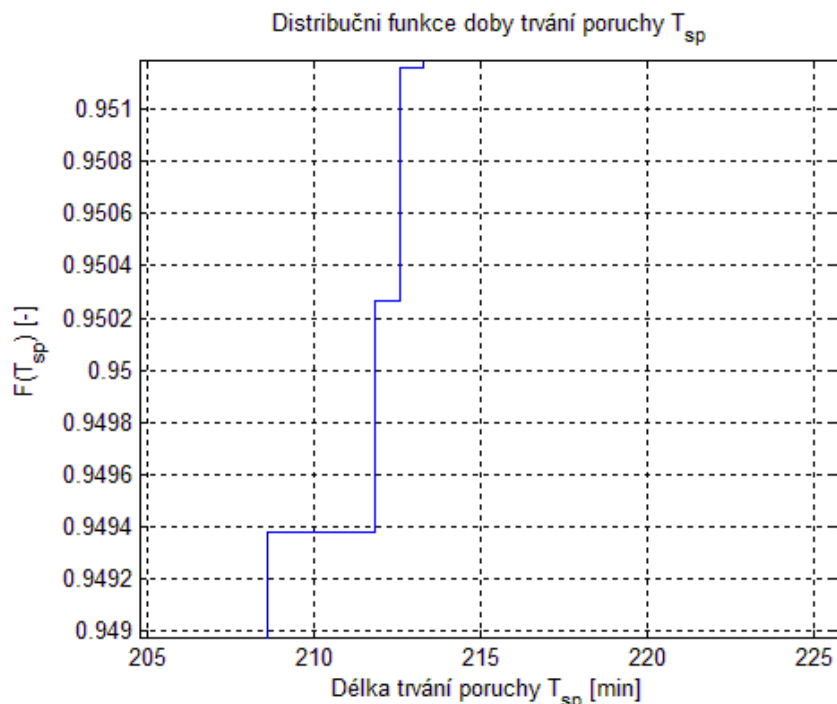
Obr. 5-8 Histogram a distribuční funkce veličiny SAIDI - síť 10kV Německo

b) Pro síť 22kV v České republice

Při zvolených parametrech $\sigma = 0,65$ a $\mu = 4,25$ jsme dospěli k výsledku průměrné doby trvání poruchy na vývodu $t_{sp} = 84,7662 \text{ min}$ a 95. percentil jsme odečetli z grafu pro první vývod na hodnotě $F(t_{sp})_{0,95} = 212 \text{ min.}$. Na obr. 5-9 a 5-10 je vidět distribuční funkce doby trvání poruchy pro první vývod.

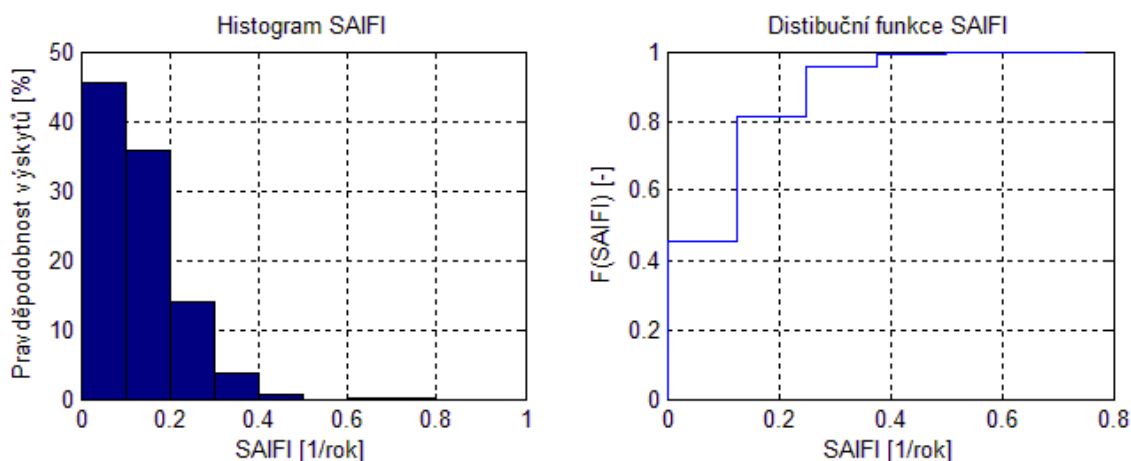


Obr. 5-9 Distribuční funkce doby trvání poruchy t_{sp} - první vývod - síť 22kV ČR

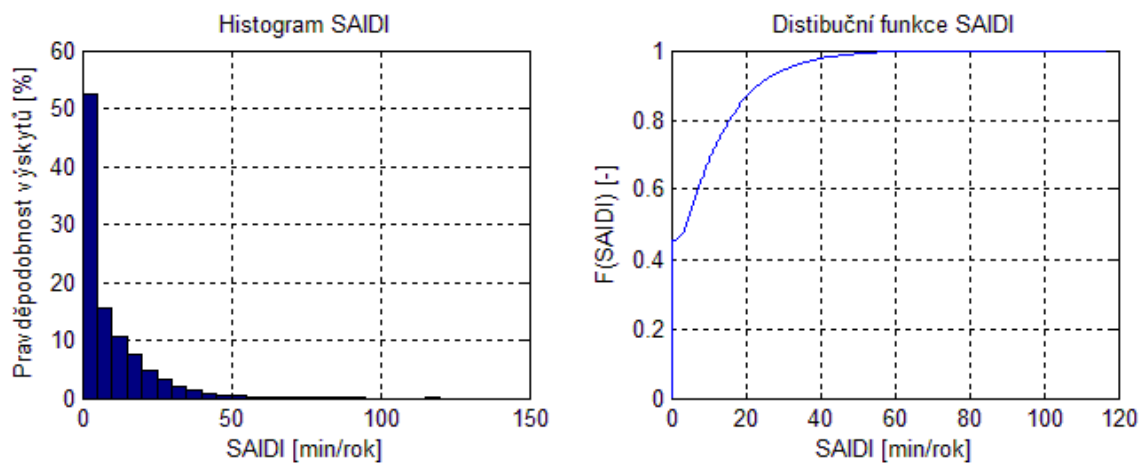


Obr. 5-10 Distribuční funkce doby trvání poruchy t_{sp} - první vývod - síť 22kV ČR – detail zobrazení

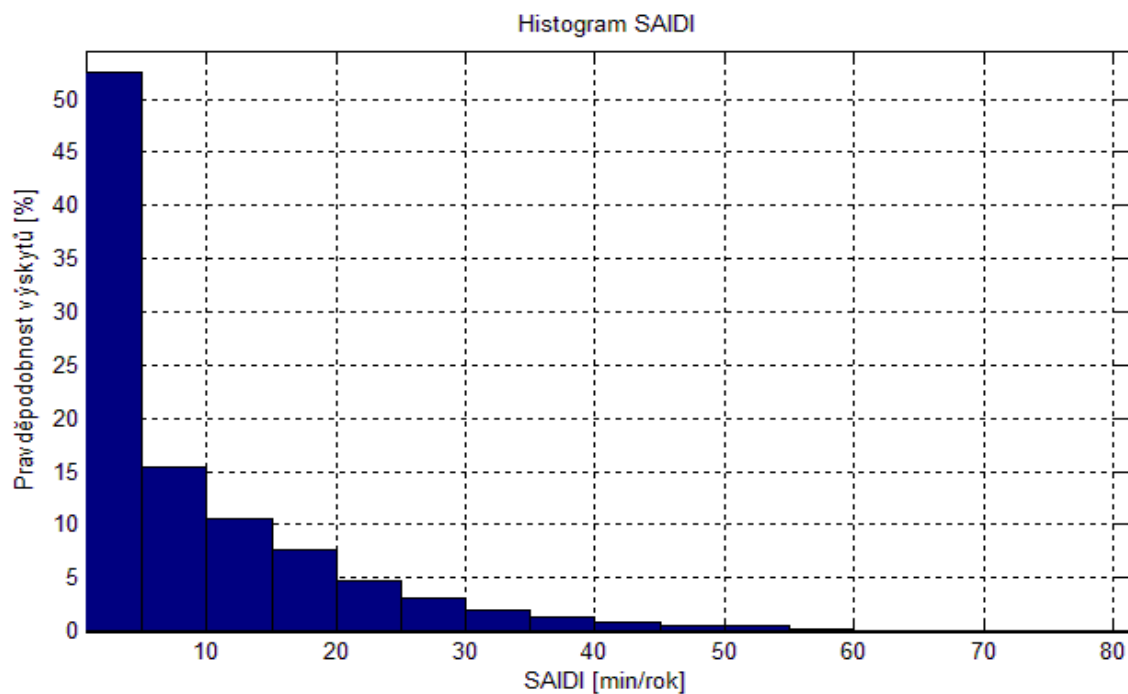
V následujícím kroku byly vypočítány průměrné hodnoty ukazatelů *SAIFI* a *SAIDI*, hodnota *SAIFI* byla určena na hodnotu 0,098 1/rok a hodnota *SAIDI* byla stanovena na hodnotu 8,3 min/rok. Na obr. 5-11 a 5-12 jsou grafické znázorněny histogramy a distribuční funkce ukazatelů *SAIFI* a *SAIDI*. Na obr. 5-13 je znázorněn detail histogramu hodnoty *SAIDI*.



Obr. 5-11 Histogram a distribuční funkce veličiny *SAIFI* – síť 22kV ČR



Obr. 5-12 Histogram a distribuční funkce veličiny SAIDI - síť 22kV ČR



Obr. 5-13 Histogram veličiny SAIDI - síť 22kV ČR – detail zobrazení

5.3 Citlivostní analýza

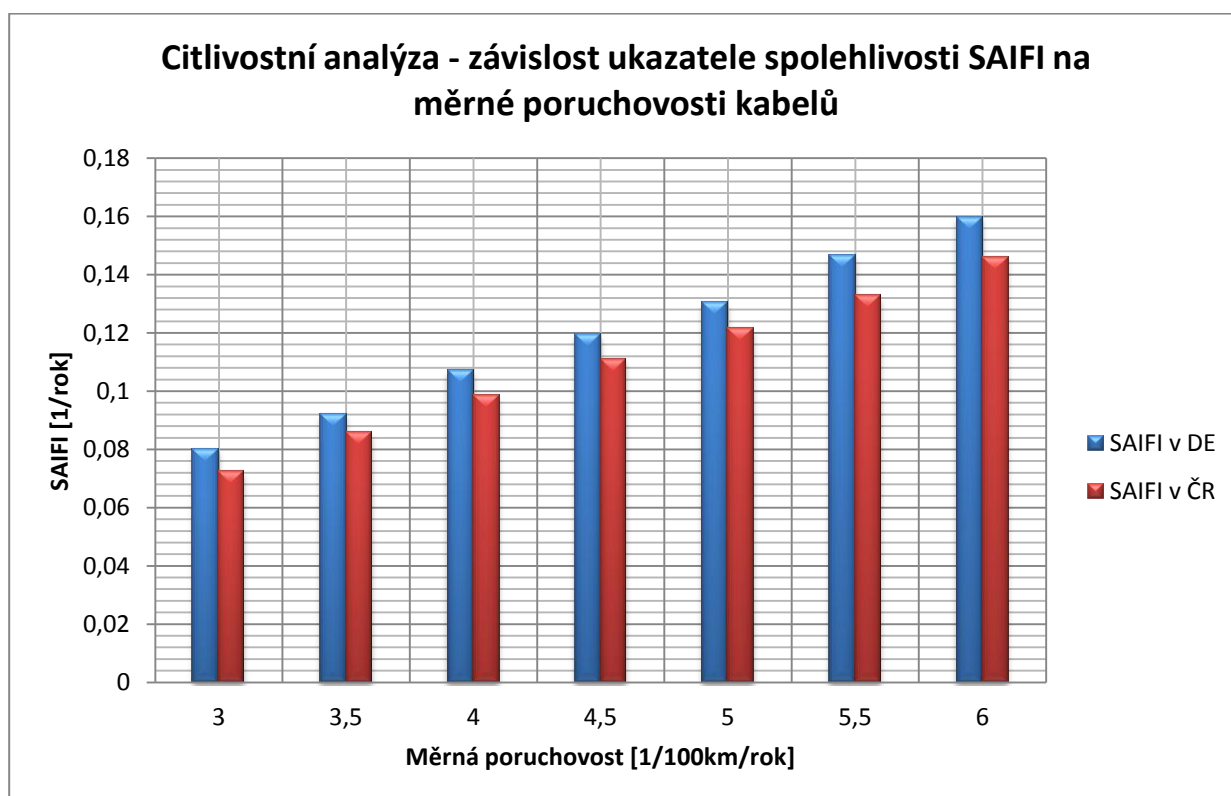
Pro zhotovení citlivostní analýzy je nutné si uvědomit, které hodnoty veličin má význam měnit, aby se hodnoty *SAIFI* či *SAIDI* zlepšili, popř. zhoršili, pro provozovatele i zákazníky je samozřejmě důležité zlepšování těchto parametrů.

5.3.1 Změna měrné poruchovosti kabelu

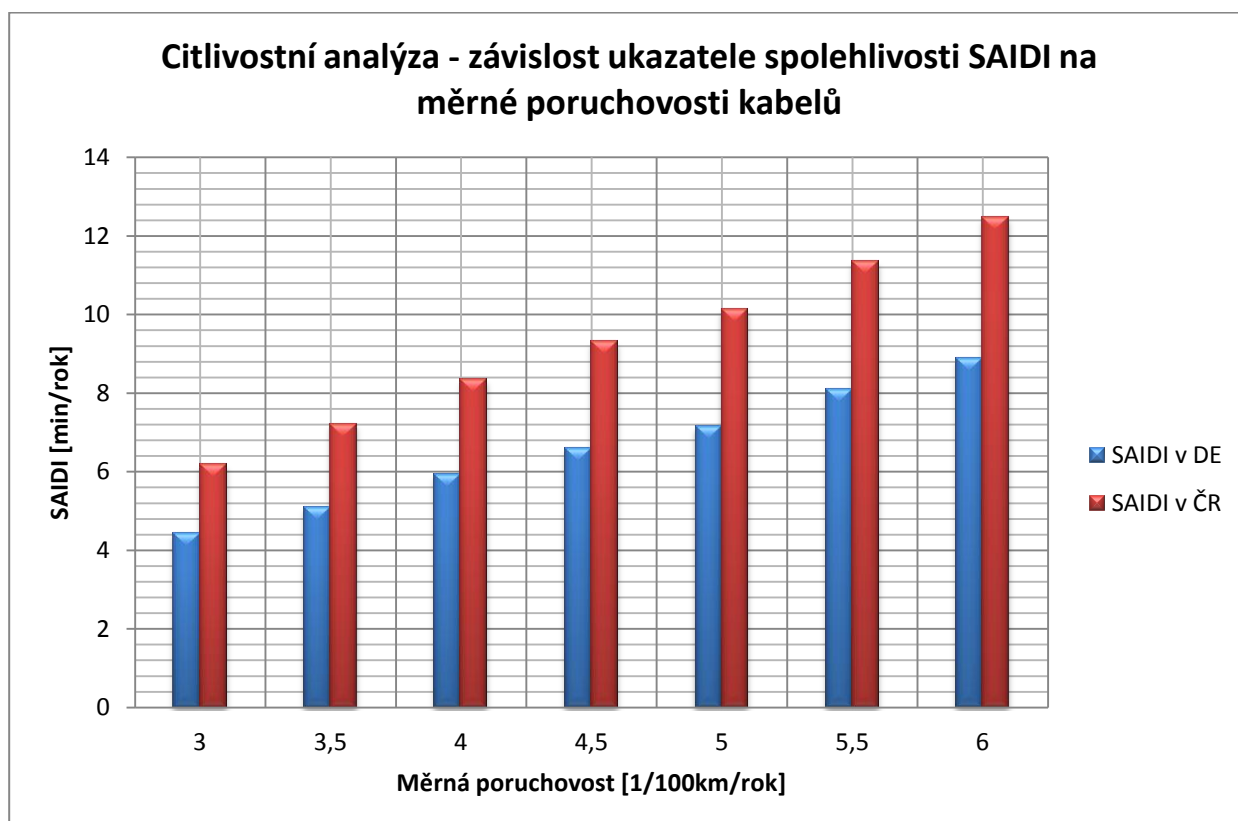
Prvním faktorem může být použití kabelu s nadprůměrnou kvalitou nebo podprůměrnou kvalitou, což ovlivňuje měrnou poruchovost λ od zadané hodnoty o - 1 1/100km/rok až + 2 1/100km/rok, ale u špatné výrobní série může být zvýšení měrné poruchovosti daleko vyšší. Námi nasimulovaná citlivost jednotlivých sítí na měrnou poruchovost je zobrazena v tabulce 5-1. Závislost resp. vývoj změn hodnot *SAIFI* v závislosti na měrné poruchovosti můžeme určit z grafu, kdy se stoupající poruchovostí rostou hodnoty *SAIFI*, viz obrázek 5-14. Na obrázku 5-15 můžeme porovnat obdobnou závislost ovšem pro ukazatel spolehlivosti *SAIDI*. Ostatní hodnoty zůstaly stejné jako v zadání.

λ_k	10kV síť v DE		22kV síť v ČR	
	<i>SAIFI</i>	<i>SAIDI</i>	<i>SAIFI</i>	<i>SAIDI</i>
1/100km/rok	1/rok	min/rok	1/rok	min/rok
3	0,080	4,4	0,072	6,2
3,5	0,092	5,1	0,086	7,2
4	0,107	5,9	0,098	8,3
4,5	0,120	6,6	0,111	9,3
5	0,130	7,2	0,122	10,1
5,5	0,147	8,1	0,133	11,4
6	0,156	8,7	0,146	12,5

Tab. 5-1 Citlivostní analýza - závislost ukazatelů spolehlivosti na měrné poruchovosti kabelů



Obr. 5-14 Citlivostní analýza - závislost ukazatele spolehlivosti SAIFI na měrné poruchovosti kabelů



Obr. 5-15 Citlivostní analýza - závislost ukazatele spolehlivosti SAIDI na měrné poruchovosti kabelů

5.3.2 Parametry logaritmicko-normálního rozdělení μ a σ

Dalšími parametry, které ovlivňují ukazatel spolehlivosti *SAIDI* jsou parametry rozdělení μ a σ . V tabulce 5-2 a 5-3 (pro 10kV v DE a pro 22kV v ČR) jsou zaznamenány zákonitosti ovlivnění ukazatele spolehlivosti *SAIDI* na velikosti parametrů μ a σ , pro ukazatel *SAIFI* nemá smysl tyto hodnoty porovnávat, protože ten není těmito hodnotami dotčen. Kromě těchto hodnot jsou dále zaznamenány hodnoty průměrné délky přerušení t_{sp} a 95-tý percentil délky přerušení $F(t_{sp})_{0,95}$. Ostatní hodnoty zůstaly stejné jako v zadání.

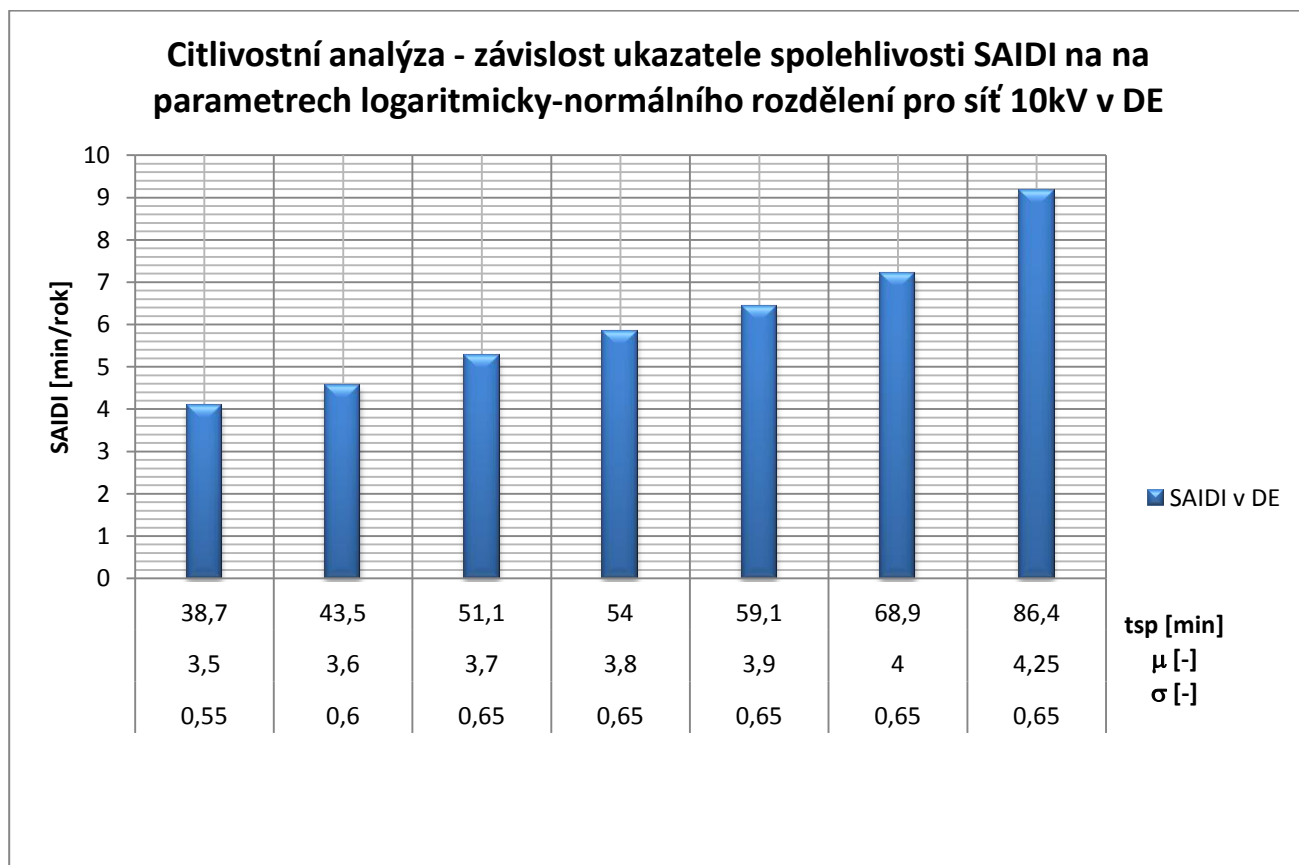
10kV síť v DE				
σ	μ	t_{sp}	$F(t_{sp})_{0,95}$	<i>SAIDI</i>
-	-	min	min	min/rok
0,55	3,5	38,7	84,4	4,1
0,6	3,6	43,5	99,8	4,6
0,65	3,7	51,1	124,2	5,3
0,65	3,8	54,0	130,4	5,8
0,65	3,9	59,1	143,6	6,4
0,65	4	68,9	165,6	7,2
0,65	4,25	86,4	202,6	9,2

Tab. 5-2 Citlivostní analýza - závislost ukazatelů spolehlivosti na parametrech logaritmicko-normálního rozdělení pro síť 10kV v DE

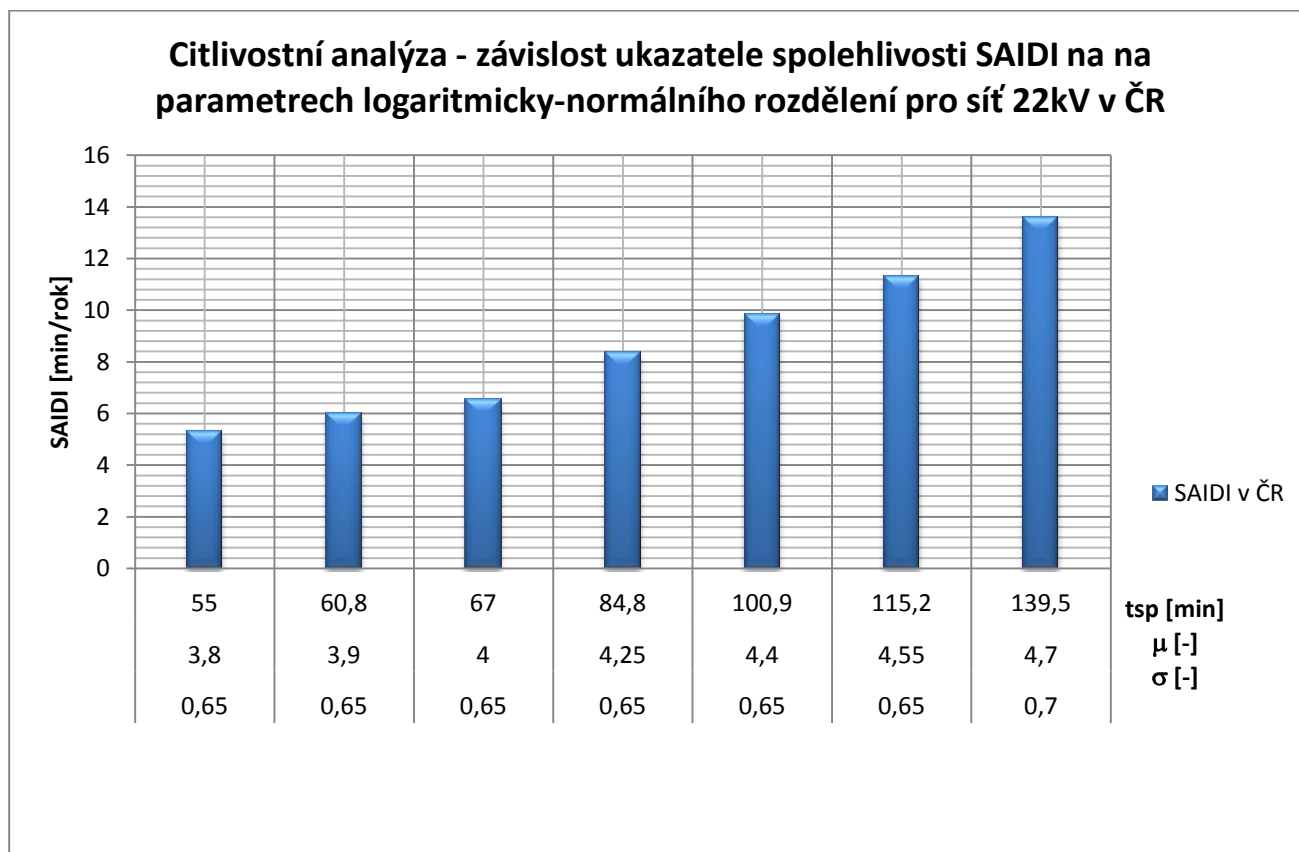
22kV síť v ČR				
σ	μ	t_{sp}	$F(t_{sp})_{0,95}$	<i>SAIDI</i>
-	-	min	min	min/rok
0,65	3,8	55,0	126,1	5,3
0,65	3,9	60,8	139,9	6,0
0,65	4	67,0	156,8	6,6
0,65	4,25	84,8	212,0	8,3
0,65	4,4	100,9	231,6	9,9
0,65	4,55	115,2	271,2	11,3
0,7	4,7	139,5	358,5	13,6

Tab. 5-3 Citlivostní analýza - závislost ukazatelů spolehlivosti na parametrech logaritmicko-normálního rozdělení pro síť 22kV v ČR

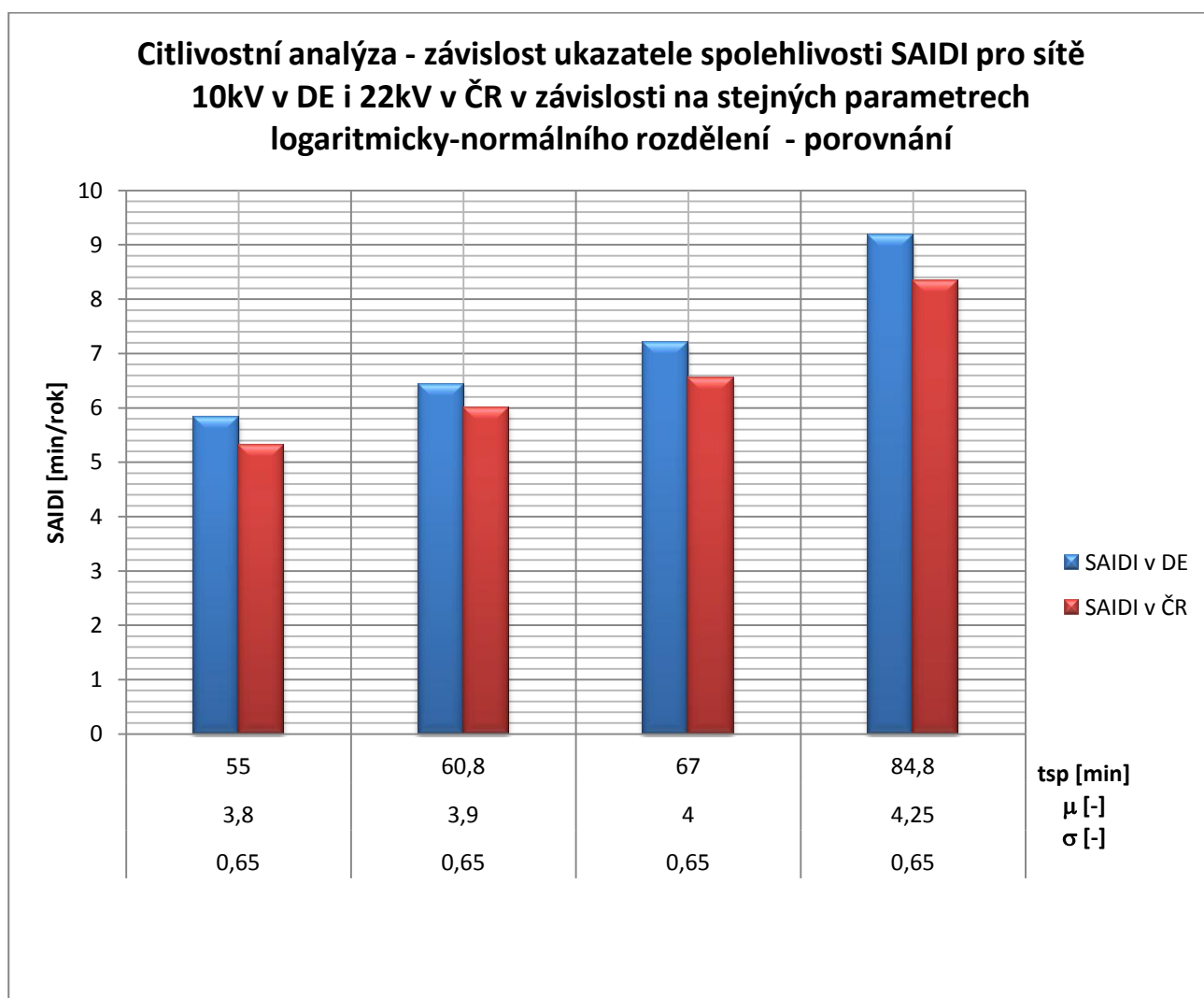
Na obrázcích 5-16 jsou znázorněny v síti 10kV v DE grafy ovlivnění ukazatele *SAIDI* pro různé parametry logaritmicko-normálního rozdělení. Na následujícím sloupcovém grafu (obr. 5-17) je stejný průběh, ovšem pro síť 22kV v ČR. Porovnání stejných rozdělení pro dvě různé sítě, v našem případě pro síť 10kV a 22kV je v na obrázku 5-18.



Obr. 5-16 Citlivostní analýza - závislost ukazatele spolehlivosti SAIDI na na parametrech logaritmicky-normálního rozdělení pro síť 10kV v DE



Obr. 5-17 Citlivostní analýza - závislost ukazatele spolehlivosti SAIDI na na parametrech logaritmicky-normálního rozdělení pro síť 22kV v ČR



Obr. 5-18 Citlivostní analýza - závislost ukazatele spolehlivosti SAIDI pro sítě 10kV v DE i 22kV v ČR v závislosti na stejných parametrech logaritmicky-normálního rozdělení - porovnání

6 ZÁVĚR

Tato diplomová práce je jako celek rozdělena na dvě části, a to na část teoretickou, ve které se zabýváme principiálním řešením sítí vysokého napětí s otevřeným rozvodem a uzavřeným rozvodem v České republice, tak i v Německu. V následující kapitole je podrobně rozepsaná stať o spolehlivosti v distribučních sítích vysokého napětí. V této části se zabýváme vysvětlením základních pojmů spolehlivosti a jevů spolehlivosti týkajících se. Dále jsme se zaměřili na ukazatele spolehlivosti a jejich rozdělení na ukazatele obecné a ukazatele distribučních sítí často označované jako agregované ukazatele. Mezi obecné ukazatele můžeme zahrnout pravděpodobnost bezporuchového provozu, pravděpodobnost poruchy, hustota poruchy, intenzita poruch a střední dobu bezporuchového provozu. Mezi ukazateli agregovanými jsme popsali ukazatele: průměrné systémové četnosti přerušení *SAIFI*, průměrné systémové doby přerušení *SAIDI*, průměrné doby trvání *CAIDI*, průměrné doby dostupnosti sítě *ASAI*, četnosti krátkodobých přerušení *MAIFI*, na tyto parametry hodnot *MAIFI* je citlivá jistá skupina zákazníků, u nichž i krátkodobý výpadek způsobí velké hospodářské škody. Dále jsme se zaměřili na využití spolehlivostních ukazatelů a ekonomických nákladů na zajištění zlepšování ukazatelů spolehlivosti, taktéž jsme rozebrali otázku nákladů vzniklých u odběratelů zapříčiněním výpadkem elektrické energie. V následujících kapitolkách byly rozebrány metody výpočtu spolehlivosti, mezi ně můžeme zařadit metody analytické a metody simulační. Mezi analytickými metodami si můžeme vybrat mezi metodou sériových modelů nebo paralelních modelů spolehlivosti, v energetice se využívá převážně sériový spolehlivostní model spolehlivosti. Mezi simulačními metodami máme opět na výběr, s použitím simulace Monte Carlo máme simulaci sekvenční a nesequenční. A na závěr kapitoly řešíme, kde získáme potřebné informace k sestavení relevantní simulace popř. výpočtu spolehlivosti. Potřebná data můžeme získávat z více zdrojů, a to za pomoci apriorní spolehlivosti, empirické spolehlivosti, získání dat z poruchových databází nebo za pomoci kvalifikovaného odhadu, který jsme využili i mi při výpočtu naší simulace v druhé části diplomové práce.

Jak již bylo nastíněno v předcházejícím textu, v druhé části diplomové práce se věnujeme simulaci za pomoci metody Monte Carlo. Zadáním bylo porovnat dvě sítě o rozdílných jmenovitých napětích s obdobnou topologií, těmito sítěmi byly síť 10kV umístěna v Německu a síť 22kV umístěna v České republice, zde bych chtěl uvést, že hodnoty v simulaci tzn. v kapitole 5 označované jako „síť 10kV (22kV) v Německu (ČR), resp. označení *SAIDI* nebo *SAIFI* v DE nebo ČR“, nejsou hodnotami reálnými v daných státech, nýbrž hodnotami nasimulovanými ve zjednodušeném topologickém modelu, který má pouze imitovat síť v porovnávaných státech.

Smyslem zadání je porovnat hodnoty ukazatelů spolehlivosti *SAIDI* a *SAIFI* ve dvou odlišných sítích VN, kdy dle srovnávací zprávy CEERu, distribuční společnosti v Německu na 10kV sítích vykazují daleko nižší hodnoty než hodnoty vykazované českými distribučními společnostmi na sítích 22kV, dle páté srovnávací zprávy. Konkrétně hodnoty vykazované v Německu za rok 2010 jsou: *SAIFI*=0,26 1/rok a *SAIDI*=14,9min/rok, v České republice byli vykážány tyto hodnoty: *SAIFI*=1,64 1/rok a *SAIDI*=106,24min/rok, tyto hodnoty jsou s vyloučením mimořádných hodnot. Jak je patrné jsou hodnoty v České republice mnohonásobně vyšší, ačkoliv v simulaci tak výrazné rozdíly nebyly, ba dokonce vycházeli i nižší při stejném rozdělení doby trvání poruchy ve výpočtu citlivostní analýzy, tato odlišnost může být způsobena jinými způsoby ukládání dat o výpadech a způsobu jejich výpočtu. Jak uvádí lit.[10], postup výpočtu, zaznamenávání hodnot a dalších faktorů jsou v těchto státech velmi odlišné, např.

v Německu zaznamenávání příčin je rozděleno do jiných kategorií než u nás, a to na poruchy způsobené atmosférickými vlivy, způsobené třetí stranou, způsobené odpovědností provozovatele sítě, výpadek způsobený vlivem tzn. "feedback effects", což je zapříčinění výpadku vlivem jiných sítí, vyšší moc a příčiny jiné. Kdežto v České republice jsou poruchy rozděleny na následující: neplánované přerušení, závady, přerušení způsobená selháním zařízení v přenosové nebo distribuční soustavě nebo při jejich provozu, způsobené třetí stranou, vynucené, výjimečné, události způsobené stavy mimo síť a plánované přerušení. Taktéž systém identifikace postižených zákazníků není v těchto dvou státech jednotný, ale ne jenom tak, prakticky v každém státě Evropy je jiný přístup k identifikaci počtu zákazníku zasažených poruchou. Dále není v rámci Německa stanoven jednotný systém pro identifikaci postižených zákazníků, kdy pravidla pro získávání těchto identifikací jsou jedinečná pro každou distribuční společnost. Kdy lit. [12] uvádí, že v Německu je více než 870 distribučních společností, připojených k přenosovým soustavám, kterých je celkem 4. Oproti těmto faktům je počet distribučních společností v ČR jen 3 a tyto distribuční společnosti jsou připojeny na jednu přenosovou soustavu. Navíc lit. [10] uvádí také, že platí různá pravidla pro plánované a neplánované přerušení elektrické energie, kdy v Německu se za plánované přerušení počítá přerušení s oznámením nebo ujednáním (předem) se zákazníkem a to vhodným způsobem, ovšem žádná další pravidla nejsou stanovena. Neplánovanými přerušeními jsou všechna ostatní přerušení. V ČR se za plánovaná přerušení považují ta, která jsou kvůli plnění plánovaných prací na zařízení přenosovém nebo distribučním zařízením podle energetického zákona, to se týká především údržby, rekonstrukce nebo výstavby. Navíc platí povinnost oznámení o přerušení dodávek 50 dnů předem na přenosové soustavě a 15 dopředu na distribuční soustavě. Neplánovanými přerušeními jsou ta, která nejsou plánované a dělí se na: poruchy a jejich odstranění, vynucené, výjimečné a přerušení způsobená okolnostmi vně sítě.

V praktické části byl nejprve vysvětlen postup nasimulování spolehlivosti ve výpočetním programu Matlab a následně byly hodnoty spolehlivosti spočítány. Hodnoty výpočtu simulace byly pro síť 10kV v Německu pro hodnotu *SAIFI* 0,107 1/rok a hodnota *SAIDI* byla vypočtena na hodnotu 5,9 min/rok. V České republice byly ukazatelé stanovení na hodnoty 0,098 1/rok resp. 8,3 min/rok, pro ukazatele *SAIFI* resp. *SAIDI*. Hodnota ukazatele *SAIDI* byla v ČR vyšší než v DE, přestože počet výpadků a jim odpovídající ukazatel *SAIFI* byl v ČR nižší, to je způsobeno zvolenými parametry rozdělení délky trvání poruchy. Délku trvání poruchy jsme pro ČR volili s delší časovou konstantou, protože jsme předpokládali, že nalezení poruchy a manipulování v síti s více úseky na vývodu bude trvat delší dobu. Ovšem pokud bychom změnily doby trvání poruchy tak bychom se dostali na jiné hodnoty. A z této úvahy plynoucí citlivostní analýza je uskutečněna nejen pro změnu rozdělení dob trvání poruchy, ale i pro změnu měrné poruchovosti kabelu.

Z tabulky 5-1 pro citlivostní analýzu vyplývá závislost na měrné poruchovosti kabelů, a to tak, že se zvyšující se měrnou poruchovostí se zvyšují i ukazatelé *SAIFI* a *SAIDI*, a to konkrétně v ČR z hodnoty pro *SAIFI* 0,072 rok⁻¹ při měrné poruchovosti 3 poruchy na 100km za rok až po hodnotu 0,146 rok⁻¹ při měrné poruchovosti 6 poruch za rok na 100km kabelového vedení. V Německu je situace obdobná, kdy se postejných měrných poruchovostí hodnoty ukazatele *SAIFI* rostou z hodnoty 0,08 rok⁻¹ až na hodnotu 0,156 rok⁻¹. Taktéž je patrné že kdyby byla měrná poruchovost sítě 22kV nižší je možné dosáhnout lepších hodnot než v síti 10kV s podstatně nižší hodnotou průměrné doby trvání poruchy.

V dalším kroku je porovnávána citlivost simulace na již nastíněné změny rozdělení logaritmicko-normálního rozdělení dob trvání poruchy, a to tak, že pro síť 10kV v DE jsme

s několika hodnotami σ a μ šli níže oproti zadání pro ilustraci chování simulace. Další hodnoty již nebyly zvoleny jen pro ilustraci, nýbrž pro srovnání se sítí 22kV v ČR tzn., že hodnoty v těchto sítích museli být stejné a pokud možno přibližně stejně od sebe vzdálené co se týče dob trvání poruch, abychom mohli prozkoumat celé spektrum relevantních hodnot. V této části citlivostní analýzy je zkoumána pouze závislost ukazatele *SAIDI*, protože rozdělení dob trvání poruch nemá žádný vliv na ukazatel spolehlivosti *SAIFI*. Porovnáním hodnot rozdělení stejných pro obě sítě, dle obrázku 5-18 můžeme dospět k názoru, že síť 22kV má nižší hodnoty ukazatele spolehlivosti *SAIDI*, pro stejné rozdělení dob trvání poruchy. Dále je patrné, že u obou sítí se zvyšuje ukazatel spolehlivosti *SAIDI* se vzrůstající průměrnou dobou trvání poruchy.

Potom z výsledků citlivostní analýzy, zejména druhé části je zvláštní, že němečtí distributoři vykazují tak nízké hodnoty *SAIFI* i *SAIDI*, jediným možným důvodem může být rychlejší lokalizace poruchy a následné přemanipulování ve vývodu nebo kabely s nižší měrnou poruchovostí, což je méně pravděpodobné. Ovšem je možné, že významný vliv na ukazatele spolehlivosti v Německu má větší poměr kabelových sítí vůči venkovním než u nás a tento fakt má nezanedbatelný vliv na ukazatele *SAIFI* i *SAIDI*. Kde lit. [10] uvádí, že v Německu na hladině nízkého napětí mají 87,29% kabelového vedení na celkové délce 1122662km vodičů, oproti síti v ČR kde je přibližně stejně zastoupené venkovní i kabelové vedení, kabelové vedení zaujímá 50,9% celkové délky vedení nízkého napětí, které činí 140877km. Na hladině VN je situace podobná v tom ohledu, že Německo má nadále převahu kabelové sítě se zastoupením 74,9% z celkové délky 497004km a v ČR je kabelové vedení zastoupeno 21,02% z celkové délky 75644km. Tyto informace jsou aktuální k roku 2009, ovšem poměry kabelové sítě k venkovnímu vedení se nijak dramaticky od té doby jistě nezměnil ani v Německu, tak ani v České republice.

POUŽITÁ LITERATURA

Knihy

tištěný zdroj

- [2] PAVLOVSKÝ B., Elektrické sítě v městech a sídlištích SNTL Praha 1975, 432 stran, DT 621.316.12.17.001.1
- [4] CHEMIŠINEC I., MARVAN M., NEČESANÝ J., SÝKORA T., TŮMA J., OBCHOD S ELEKTRINOU, CONTE SPOL. S R.O. ČVUT PRAHA 2010, 201 STRAN, ISBN 978-80-254-6695-7
- [5] TŮMA J., RUSEK S., MARTÍNEK Z., CHEMIŠINEC I., GOŇO R., Spolehlivost v elektroenergetice, CONTE spol. s r.o. ČVUT Praha, 291 stran, ISBN 80-239-6483-6

Elektronický zdroj

- [1] ORSÁGOVÁ J., Rozvodná zařízení, VUT Brno 2011, 145 stran
- [6] SKALA P., Spolehlivost dodávky elektrické energie zákazníkům, VUT Brno 2008, 60 stran
- [7] SKALA P., Spolehlivost dodávky elektrické energie zákazníkům, VUT Brno 2011, 64 stran
- [8] CIRED, 21st International Conference on Electricity Distribution, 6.-9. June 2011, 4 strany, A STRUCTURED APPROACH FOR SMART GRID IMPLEMENTATION
- [11] ORSÁGOVÁ J., Elektrické stanice a vedení, VUT Brno 2010, 146 stran

WWW stránka

Pouze elektronický zdroj

- [3] Druhy silnoprůdého rozvodu [on line] 2011 [cit. 2011-11-05]
<http://www.tzb-info.cz/4035-druhy-elektrického-silnoprouteho-rozvodu>
- [9] Katalog VN kabelů [on line] 2011 [cit. 2012-04-14]
http://www.draka.cz/images/stories/vn-bez_vde/vn-katalog.pdf
- [10] 5TH CEER BENCHMARKING REPORT ON THE QUALITY OF ELECTRICITY SUPPLY [on line] 2011 [cit. 2012-04-29]
http://www.energy-regulators.eu/portal/page/portal/EER_HOME/EER_PUBLICATIONS/CEER_PAPERS/Electricity/Tab/CEER_Benchmarking_Report.pdf
- [12] Umbau der Energieversorgung in Deutschland - Wichtige nächste Schritte [on line] prosinec 2011 [cit. 2012-05-12]
<http://bmwi.de/Dateien/BMWi/PDF/umbau-der-energieversorgung-in-deutschland,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf>

PŘÍLOHA A – KATALOGOVÝ LIST KABELU 10-AXEKCY



10-AXEKCY 6/10 (12) kV

Kabely pro vysoké napětí | Medium Voltage Cables

Konstrukce

Jádro:	lanované, kulaté a komprimované hliníkové jádro podle ČSN EN 60228, třída 2
Dolní polovodivá vrstva:	vytlačovaná
Izolace:	XLPE, jmenovitá tloušťka 3,4 mm
Horní polovodivá vrstva:	vytlačovaná, nesloupatelná
Separátor:	polovodivá páska
Koncentrický vodič:	žíhané měděné dráty a protispirála z měděné pásky
Plášť:	bezolovnaté PVC, černý nebo červený dle požadavku
Příklad značení:	10-AXEKCY 6/10 (12) kV 1 x 70 RM/16 DRAKA, rok výroby, číslo dílčí délky, číslo normy, metrování

Construction

Conductor:	Stranded, round and compacted aluminium acc. to ČSN EN 60228, class 2
Conductor screen:	Extruded
Insulation:	XLPE, nom. thickness 3.4 mm
Insulation screen:	Extruded bonded
Separator:	Semi conducting tape
Concentric conductor:	Annealed copper wires and counter spiral of copper-tape
Sheath:	Lead-free PVC, black or red on request
Marking e.g.:	10-AXEKCY 6/10 (12) kV 1 x 70 RM/16 DRAKA, manufacturing year, number of particular length, number of standard, meter marking

Konstruktivní norma

PNE 34 76 25

Design standard

PNE 34 76 25

Provozní teplota

V trvalém provozu max. +90 °C na jádře. Minimální teplota kabelu během pokládky: -10 °C. Pod 0 °C musí být učiněna speciální opatření.

Temperature range

In continuous operation max. +90 °C on conductor. Lowest cable temperature during installation: -10 °C and below 0 °C special precaution shall be taken.

Rázové napětí

75 kV

Impulse voltage

75 kV

Poloměr ohybu

Při pevném uložení:	10 x D
Při pokládce:	15 x D

Bending radius

At fixed mounting:	10 x D
At laying:	15 x D

Použití

Jednožilový distribuční kabel pro vnitřní i venkovní použití v 3-fázovém uspořádání. Instalace do trubek a pokládka do země/vzduchu. Kabely splňující požadavky PNE 34 76 25 je možno používat v prostoru IV, V a VI podle PNE 33 0000-2.

Use

Single-core, distribution cable for outdoors and indoors use in 3-phase formation. Installation in pipes and ground/air. Cables meeting requirements PNE 34 76 25 can be used in environments IV, V and VI according to PNE 33 0000-2.

10-AXEKCY 6/10 (12) kV



Technická data | Technical data

Počet žil x průřez jádra (mm ²)	Průměr nad izolací (mm)	Celkový průměr (cca) (mm)	Váha (cca) (kg/100 m)	Standardní dodací délka (m)	Standardní velikost bubnu
Number of cores x cross-section of conductor (mm ²)	Diameter over insulation (mm)	Overall diameter (approx.) (mm)	Weight (approx.) (kg/100 m)	Standard delivery length (m)	Standard drum size
1 x 35/16	15,2	25	70	500	K12
1 x 50/16	16,2	26	75	500	K12
1 x 70/16	17,8	27	85	500	K14
1 x 95/16	19,5	29	95	500	K14
1 x 120/16	20,8	30	105	500	K14
1 x 150/25	22,4	32	125	500	K14
1 x 185/25	24,1	34	140	500	K16
1 x 240/25	26,3	36	160	500	K16
1 x 300/25	28,7	38	185	500	K18
1 x 400/35	31,8	43	230	500	K20
1 x 500/35	34,8	45	265	500	K20
1 x 630/35	38,9	50	315	500	K22

Elektrická data při +20 °C | Electrical data at +20 °C

Počet žil x průřez jádra (mm ²)	Odpor jádra max. (Ω/km)	Odpor stínění max. (Ω/km)	Indukčnost v troj- úhelníku/rovině* (mH/km)	Kapacita (μF/km)	Nabíjecí proud/fáze (A/km)
Number of cores x cross-section of conductor (mm ²)	Conductor resistance max. (Ω/km)	Screen resistance max. (Ω/km)	Inductance in trefoil/in plane* (mH/km)	Capacitance (μF/km)	Charging current/phase (A/km)
1 x 35/16	0,868	1,15	0,44/0,63	0,22	0,9
1 x 50/16	0,641	1,15	0,42/0,61	0,24	1,0
1 x 70/16	0,443	1,15	0,40/0,58	0,27	1,1
1 x 95/16	0,320	1,15	0,38/0,56	0,31	1,2
1 x 120/16	0,253	1,15	0,36/0,55	0,33	1,3
1 x 150/25	0,206	0,727	0,35/0,54	0,36	1,4
1 x 185/25	0,164	0,727	0,34/0,53	0,40	1,6
1 x 240/25	0,125	0,727	0,33/0,51	0,44	1,8
1 x 300/25	0,100	0,727	0,31/0,50	0,49	2,0
1 x 400/35	0,0778	0,524	0,31/0,49	0,55	2,2
1 x 500/35	0,0605	0,524	0,29/0,48	0,60	2,4
1 x 630/35	0,0469	0,524	0,29/0,47	0,68	2,7

* Trojúhelník se stíněním uzemněným na obou koncích. | * Trefoil with screen grounded in both ends.

Číselné údaje jsou pouze informativní, technické změny vyhrazeny. | Numerical data are only informative, subject to technical changes.

10-AXEKCY 6/10 (12) kV

Jmenovitý proud | Current rating



Počet žil x průřez jádra (mm ²)	Proudová zatíži- telnost při tep- lotě jádra 65 °C v zemi* (A)	Proudová zatíži- telnost při teplotě jádra 65 °C na vzduchu* (A)	Proudová zatíži- telnost při teplotě jádra 90 °C na vzduchu* (A)	Max. zkratový proud jádra během 1 s při počáteční teplotě 65 °C (kA)	Max. zkratový proud jádra během 1 s při počáteční teplotě 90 °C (kA)
Number of cores x cross-section of conductor (mm ²)	Current rating at core temp. 65 °C under ground* (A)	Current rating at core temp. 65 °C in air* (A)	Current rating at core temp. 90 °C in air* (A)	Max. short-circuit current on the conductor during 1 s at initial temp. 65 °C (kA)	Max. short-circuit current on the conductor during 1 s at initial temp. 90 °C (kA)
1 x 35/16	135	125	155	3,6	3,3
1 x 50/16	155	160	195	5,2	4,7
1 x 70/16	200	190	235	7,2	6,6
1 x 95/16	235	230	280	9,9	8,9
1 x 120/16	265	265	325	12,4	11,3
1 x 150/25	300	300	370	15,6	14,2
1 x 185/25	330	345	425	19,2	17,5
1 x 240/25	385	400	490	25,0	22,7
1 x 300/25	435	460	565	31,2	28,3
1 x 400/35	510	555	680	41,6	37,8
1 x 500/35	570	635	775	52,0	47,2
1 x 630/35	635	720	880	65,6	59,5

* Trojúhelník se stíněním uzemněným na obou koncích. | * Trefoil with screen grounded in both ends.

Číselné údaje jsou pouze informativní, technické změny vyhrazeny. | Numerical data are only informative, subject to technical changes.

PŘÍLOHA B – KATALOGOVÝ LIST KABELU 22-AXEKCY



22-AXEKCY 12,7/22 (25) kV

Kabely pro vysoké napětí | Medium Voltage Cables

Konstrukce

Jádro:	lanované, kulaté a komprimované hliníkové jádro podle ČSN EN 60228, třída 2
Dolní polovodivá vrstva:	vytlačovaná
Izolace:	XLPE, jmenovitá tloušťka 5,5 mm
Horní polovodivá vrstva:	vytlačovaná, nesloupatelná
Separátor:	polovodivá páska
Koncentrický vodič:	žíhané měděné dráty a protispirála z měděné pásky
Plášť:	bezolovnaté PVC, černý nebo červený
Příklad značení:	22-AXEKCY 12,7/22 (25) kV 1 x 70 RM/16 DRAKA, rok výroby, číslo dílčí délky, číslo normy, metrování

Konstrukční norma

PNE 34 76 25

Provozní teplota

V trvalém provozu max. +90 °C na jádře. Minimální teplota kabelu během pokládky: -10 °C. Pod 0 °C musí být učiněna speciální opatření.

Rázové napětí

125 kV

Poloměr ohybu

Při pevném uložení:	10 x D
Při pokládce:	15 x D

Použití

Jednožilový distribuční kabel pro vnitřní i venkovní použití v 3-fázovém uspořádání. Instalace do trubek a pokládka do země/vzduchu. Kabely splňující požadavky PNE 34 76 25 je možno používat v prostoru IV, V a VI podle PNE 33 0000-2.

Construction

Conductor:	Stranded, round and compacted aluminium acc. to ČSN EN 60228, class 2
Conductor screen:	Extruded
Insulation:	XLPE, nom. thickness 5.5 mm
Insulation screen:	Extruded bonded
Separator:	Semi conducting tape
Concentric conductor:	Annealed copper wires and counter spiral of copper-tape
Sheath:	Lead free PVC, black or red
Marking e.g.:	22-AXEKCY 12,7/22 (25) kV 1 x 70 RM/16 DRAKA, manufacturing year, number of particular length, number of standard, meter marking

Design standard

PNE 34 76 25

Temperature range

In continuous operation max. +90 °C on conductor. Lowest cable temperature during installation: -10 °C and below 0 °C special precaution shall be taken.

Impulse voltage

125 kV

Bending radius

At fixed mounting:	10 x D
At laying:	15 x D

Use

Single-core, distribution cable for outdoors and indoors use in 3-phase formation. Installation in pipes and ground/air. Cables meeting requirements PNE 34 76 25 can be used in environments IV, V and VI according to PNE 33 0000-2.

22-AXEKCY 12,7/22 (25) kV

Technická data | Technical data



Počet žil x průřez jádra (mm ²)	Průměr nad izolací (mm)	Celkový průměr (cca) (mm)	Váha (cca) (kg/100 m)	Standardní dodací délka (m)	Standardní velikost bubnu
Number of cores x cross-section of conductor (mm ²)	Diameter over insulation (mm)	Overall diameter (approx.) (mm)	Weight (approx.) (kg/100 m)	Standard delivery length (m)	Standard drum size
1 x 35/16	19,4	28	85	500	K12
1 x 50/16	20,4	29	95	500	K12
1 x 70/16	22,0	31	105	500	K14
1 x 95/16	23,7	33	120	500	K14
1 x 120/16	25,0	34	130	500	K14
1 x 150/25	26,6	35	150	500	K14
1 x 185/25	28,3	37	170	500	K16
1 x 240/25	30,5	39	190	500	K16
1 x 300/25	32,9	42	210	500	K18
1 x 400/35	36,0	46	255	500	K20
1 x 500/35	39,0	49	295	500	K20
1 x 630/35	43,1	53	335	500	K22

Elektrická data při +20 °C | Electrical data at +20 °C

Počet žil x průřez jádra (mm ²)	Odpor jádra max. (Ω/km)	Odpor stínění max. (Ω/km)	Indukčnost v troj- úhelníku/rovině* (mH/km)	Kapacita (μF/km)	Nabíjecí proud/fáze (A/km)
Number of cores x cross-section of conductor (mm ²)	Conductor resistance max. (Ω/km)	Screen resistance max. (Ω/km)	Inductance in trefoil/in plane* (mH/km)	Capacitance (μF/km)	Charging current/phase (A/km)
1 x 35/16	0,868	1,15	0,43/0,65	0,22	0,9
1 x 50/16	0,641	1,15	0,45/0,63	0,24	1,0
1 x 70/16	0,443	1,15	0,42/0,61	0,27	1,1
1 x 95/16	0,320	1,15	0,40/0,59	0,31	1,2
1 x 120/16	0,253	1,15	0,39/0,57	0,33	1,3
1 x 150/25	0,206	0,727	0,37/0,55	0,36	1,4
1 x 185/25	0,164	0,727	0,36/0,54	0,40	1,6
1 x 240/25	0,125	0,727	0,34/0,53	0,44	1,8
1 x 300/25	0,100	0,727	0,33/0,52	0,49	2,0
1 x 400/35	0,0778	0,524	0,32/0,51	0,55	2,2
1 x 500/35	0,0605	0,524	0,31/0,50	0,60	2,4
1 x 630/35	0,0469	0,524	0,30/0,48	0,68	2,7

* Trojúhelník se stíněním uzemněným na obou koncích. | * Trefoil with screen grounded in both ends.

Číselné údaje jsou pouze informativní, technické změny vyhrazeny. | Numerical data are only informative, subject to technical changes.

22-AXEKCY 12,7/22 (25) kV

Jmenovitý proud | Current rating



Počet žil x průřez jádra (mm ²)	Proudová zatíži- telnost při tep- lotě jádra 65 °C v zemi* (A)	Proudová zatíži- telnost při teplotě jádra 65 °C na vzduchu* (A)	Proudová zatíži- telnost při teplotě jádra 90 °C na vzduchu* (A)	Max. zkratový proud jádra během 1 s při počáteční teplotě 65 °C (kA)	Max. zkratový proud jádra během 1 s při počáteční teplotě 90 °C (kA)
Number of cores x cross-section of conductor (mm ²)	Current rating at core temp. 65 °C under ground* (A)	Current rating at core temp. 65 °C in air* (A)	Current rating at core temp. 90 °C in air* (A)	Max. short-circuit current on the conductor during 1 s at initial temp. 65 °C (kA)	Max. short-circuit current on the conductor during 1 s at initial temp. 90 °C (kA)
1 x 35/16	135	125	155	3,6	3,3
1 x 50/16	155	160	195	5,2	4,7
1 x 70/16	200	190	235	7,2	6,6
1 x 95/16	235	230	280	9,9	8,9
1 x 120/16	265	265	325	12,4	11,3
1 x 150/25	300	300	370	15,6	14,2
1 x 185/25	330	345	425	19,2	17,5
1 x 240/25	385	400	490	25,0	22,7
1 x 300/25	435	460	565	31,2	28,3
1 x 400/35	510	555	680	41,6	37,8
1 x 500/35	570	635	775	52,0	47,2
1 x 630/35	635	720	880	65,6	59,5

* Trojúhelník se stíněním uzemněným na obou koncích. | * Trefoil with screen grounded in both ends.

Číselné údaje jsou pouze informativní, technické změny vyhrazeny. | Numerical data are only informative, subject to technical changes.

PŘÍLOHA C - ZDROJOVÝ KÓD PRO SÍŤ 10kV v DE

```
% -----
% DP - Simulace spolehlivosti vývodů VN nesequenční metodou
%       Monte Carlo - síť 10kV v DE
% -----

clear all; clc; close all

%definice prvků pro výpočet
pocet_vyvodu=16;
pocet_useku=5;
lambdak=0.04; % měrná poruchovost - lambda
lul=[0.1 0.6 0.6 0.6 0.6]; % délky úseků na lichém vývodu
lus=[0.4 0.6 0.6 0.6 0.6]; % délky úseků na sudém vývodu
laml=lambdak*lul;
lams=lambdak*lus;
nru=0;
% parametry pro generování času - logaritmicko-normalního rozdělení
sigma=0.7;
mi=4.1;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Generování potřebných dat - naplnění matice roky x úseky

% 1. vývod
doby_do_por_1 = [];
n_1=[];
pom1=[];
nru_1 = zeros(pocet_useku,10000);
tsru_1 = nru_1;
for k_usek=1:pocet_useku

    for k_rok=1:10000;
        n_1=[];

        while sum (n_1) < 1

            gen_doba_1 = -1/laml(k_usek)*log(1-rand(1));
            pom1 = [pom1;gen_doba_1];
            n_1 = [n_1 ; gen_doba_1];

        end

        nru_1(k_usek,k_rok)=length(n_1)-1;

        if nru_1(k_usek,k_rok) > 0

            tsru_1(k_usek,k_rok)=sum(exp(randn(nru_1(k_usek,k_rok),1)*sigma+mi));
            else tsru_1(k_usek,k_rok)=0;
        end
    end
end

A=[0];
for k_usek=1:pocet_useku
    for k_rok=1:10000;
        if tsru_1(k_usek,k_rok) > 0
            A=[A; tsru_1(k_usek,k_rok)];
        end
    end
end
```

```

        end
    end
end

figure
tsortA=sort(A);           %seřazení dob do poruchy
length(A)                %vypíše počet poruch
prstA=( [1:length(A)]'/length(A));
meanA= mean(A)
stairs(tsortA,prstA);
grid on                  %vykreslení distribuční funkce Tsp
title('Distribuční funkce doby trvání poruchy T_s_p');
xlabel('Délka trvání poruchy T_s_p [min]');
ylabel('F(T_s_p) [-]');

% 2. vývod
doby_do_por_2 = [];
pom2=[];
n_2=[];
nru_2 = zeros(pocet_useku,10000);
tsru_2 = nru_2;
for k_usek=1:pocet_useku

    for k_rok=1:10000
        n_2=[];

        while sum (n_2) < 1

            gen_doba_2 = -1/lams(k_usek)*log(1-rand(1));
            pom2 = [pom2;gen_doba_2];
            n_2 = [n_2 ; gen_doba_2];

            if sum (n_2) < 1
                doby_do_por_2=[doby_do_por_2; gen_doba_2];
            end

        end

        nru_2(k_usek,k_rok)=length(n_2)-1;

        if nru_2(k_usek,k_rok) > 0
            tsru_2(k_usek,k_rok)=sum(exp(randn(nru_2(k_usek,k_rok),1)*sigma+mi));
        else tsru_2(k_usek,k_rok)=0;
        end
    end
end

B=[0];
for k_usek=1:pocet_useku
    for k_rok=1:10000;
        if tsru_2(k_usek,k_rok) > 0
            B=[B; tsru_2(k_usek,k_rok)];
        end
    end
end
end

```

```

figure
tsortB =sort(B);
length(B)
prstB=([1:length(B)]'/length(B));
meanB = mean(B)
stairs(tsortB,prstB);
grid on
title('Distribuční funkce doby trvání poruchy T_s_p');
xlabel('Délka trvání poruchy T_s_p [min]');
ylabel('F(T_s_p) [-]');

% 3. vývod
doby_do_por_3 = [];
n_3=[];
nru_3 = zeros(pocet_useku,10000);
tsru_3 = nru_3;

for k_usek=1:pocet_useku

    for k_rok=1:10000;
        n_3=[];

        while sum (n_3) < 1
            gen_doba_3 = -1/laml(k_usek)*log(1-rand(1));
            n_3 = [n_3 ; gen_doba_3];
        end

        nru_3(k_usek,k_rok)=length(n_3)-1;

        if nru_3(k_usek,k_rok) > 0

tsru_3(k_usek,k_rok)=sum(exp(randn(nru_3(k_usek,k_rok),1)*sigma+mi));
        end
    end
end

% 4. vývod
doby_do_por_4 = [];
n_4=[];
nru_4 = zeros(pocet_useku,10000);
tsru_4 = nru_4;

for k_usek=1:pocet_useku

    for k_rok=1:10000
        n_4=[];

        while sum (n_4) < 1
            gen_doba_4 = -1/lams(k_usek)*log(1-rand(1));
            n_4 = [n_4 ; gen_doba_4];
        end

        nru_4(k_usek,k_rok)=length(n_4)-1;

        if nru_4(k_usek,k_rok) > 0

tsru_4(k_usek,k_rok)=sum(exp(randn(nru_4(k_usek,k_rok),1)*sigma+mi));
        end
    end
end

```

```
% 5. vývod
doby_do_por_5 = [];
n_5=[];
nru_5 = zeros(pocet_useku,10000);
tsru_5 = nru_5;

for k_usek=1:pocet_useku

    for k_rok=1:10000;
        n_5=[];

        while sum (n_5) < 1
            gen_doba_5 = -1/laml(k_usek)*log(1-rand(1));
            n_5 = [n_5 ; gen_doba_5];
        end

        nru_5(k_usek,k_rok)=length(n_5)-1;

        if nru_5(k_usek,k_rok) > 0

tsru_5(k_usek,k_rok)=sum(exp(randn(nru_5(k_usek,k_rok),1)*sigma+mi));
        end
    end
end

% 6. vývod
doby_do_por_6 = [];
n_6=[];
nru_6 = zeros(pocet_useku,10000);
tsru_6 = nru_6;

for k_usek=1:pocet_useku

    for k_rok=1:10000
        n_6=[];

        while sum (n_6) < 1
            gen_doba_6 = -1/lams(k_usek)*log(1-rand(1));
            n_6 = [n_6 ; gen_doba_6];
        end

        nru_6(k_usek,k_rok)=length(n_6)-1;

        if nru_6(k_usek,k_rok) > 0

tsru_6(k_usek,k_rok)=sum(exp(randn(nru_6(k_usek,k_rok),1)*sigma+mi));
        end
    end
end

% 7. vývod
doby_do_por_7 = [];
n_7=[];
nru_7 = zeros(pocet_useku,10000);
tsru_7 = nru_7;

for k_usek=1:pocet_useku

    for k_rok=1:10000;
```

```
n_7=[];

while sum (n_7) < 1
    gen_doba_7 = -1/lam1(k_usek)*log(1-rand(1));
    n_7 = [n_7 ; gen_doba_7];
end

nru_7(k_usek,k_rok)=length(n_7)-1;

if nru_7(k_usek,k_rok) > 0

tsru_7(k_usek,k_rok)=sum(exp(randn(nru_7(k_usek,k_rok),1)*sigma+mi));
end
end

% 8. vývod
doby_do_por_8 = [];
n_8=[];
nru_8 = zeros(pocet_useku,10000);
tsru_8 = nru_8;

for k_usek=1:pocet_useku

    for k_rok=1:10000
        n_8=[];

        while sum (n_8) < 1
            gen_doba_8 = -1/lams(k_usek)*log(1-rand(1));
            n_8 = [n_8 ; gen_doba_8];
        end

        nru_8(k_usek,k_rok)=length(n_8)-1;

        if nru_8(k_usek,k_rok) > 0

tsru_8(k_usek,k_rok)=sum(exp(randn(nru_8(k_usek,k_rok),1)*sigma+mi));
end
end
end

% 9. vývod
doby_do_por_9 = [];
n_9=[];
nru_9 = zeros(pocet_useku,10000);
tsru_9 = nru_9;

for k_usek=1:pocet_useku

    for k_rok=1:10000;
        n_9=[];

        while sum (n_9) < 1
            gen_doba_9 = -1/lam1(k_usek)*log(1-rand(1));
            n_9 = [n_9 ; gen_doba_9];
        end

        nru_9(k_usek,k_rok)=length(n_9)-1;

        if nru_9(k_usek,k_rok) > 0
```

```
tsru_9(k_usek,k_rok)=sum(exp(randn(nru_9(k_usek,k_rok),1)*sigma+mi));
    end
end
end

% 10. vývod
doby_do_por_10 = [];
n_10=[];
nru_10 = zeros(pocet_useku,10000);
tsru_10 = nru_10;

for k_usek=1:pocet_useku

    for k_rok=1:10000
        n_10=[];

        while sum (n_10) < 1
            gen_doba_10 = -1/lams(k_usek)*log(1-rand(1));
            n_10 = [n_10 ; gen_doba_10];
        end

        nru_10(k_usek,k_rok)=length(n_10)-1;

        if nru_10(k_usek,k_rok) > 0

tsru_10(k_usek,k_rok)=sum(exp(randn(nru_10(k_usek,k_rok),1)*sigma+mi));
            end
        end
    end

% 11. vývod
doby_do_por_11 = [];
n_11=[];
nru_11 = zeros(pocet_useku,10000);
tsru_11 = nru_11;

for k_usek=1:pocet_useku

    for k_rok=1:10000;
        n_11=[];

        while sum (n_11) < 1
            gen_doba_11 = -1/laml(k_usek)*log(1-rand(1));
            n_11 = [n_11 ; gen_doba_11];
        end

        nru_11(k_usek,k_rok)=length(n_11)-1;

        if nru_11(k_usek,k_rok) > 0

tsru_11(k_usek,k_rok)=sum(exp(randn(nru_11(k_usek,k_rok),1)*sigma+mi));
            end
        end
    end

% 12. vývod
doby_do_por_12 = [];
n_12=[];
nru_12 = zeros(pocet_useku,10000);
```

```
tsru_12 = nru_12;

for k_usek=1:pocet_useku

    for k_rok=1:10000
        n_12=[];

        while sum (n_12) < 1
            gen_doba_12 = -1/lams(k_usek)*log(1-rand(1));
            n_12 = [n_12 ; gen_doba_12];
        end

        nru_12(k_usek,k_rok)=length(n_12)-1;

        if nru_12(k_usek,k_rok) > 0

tsru_12(k_usek,k_rok)=sum(exp(randn(nru_12(k_usek,k_rok),1)*sigma+mi));
        end
    end
end

% 13. vývod
doby_do_por_13 = [];
n_13=[];
nru_13 = zeros(pocet_useku,10000);
tsru_13 = nru_13;

for k_usek=1:pocet_useku

    for k_rok=1:10000;
        n_13=[];

        while sum (n_13) < 1
            gen_doba_13 = -1/laml(k_usek)*log(1-rand(1));
            n_13 = [n_13 ; gen_doba_13];
        end

        nru_13(k_usek,k_rok)=length(n_13)-1;

        if nru_13(k_usek,k_rok) > 0

tsru_13(k_usek,k_rok)=sum(exp(randn(nru_13(k_usek,k_rok),1)*sigma+mi));
        end
    end
end

% 14. vývod
doby_do_por_14 = [];
n_14=[];
nru_14 = zeros(pocet_useku,10000);
tsru_14 = nru_14;

for k_usek=1:pocet_useku

    for k_rok=1:10000
        n_14=[];

        while sum (n_14) < 1
            gen_doba_14 = -1/lams(k_usek)*log(1-rand(1));
            n_14 = [n_14 ; gen_doba_14];
```



```

        end

        nru_14(k_usek,k_rok)=length(n_14)-1;

        if nru_14(k_usek,k_rok) > 0

tsru_14(k_usek,k_rok)=sum(exp(randn(nru_14(k_usek,k_rok),1)*sigma+mi));
        end
    end
end

% 15. vývod
doby_do_por_15 = [];
n_15=[];
nru_15 = zeros(pocet_useku,10000);
tsru_15 = nru_15;

for k_usek=1:pocet_useku

    for k_rok=1:10000;
        n_15=[];

        while sum (n_15) < 1
            gen_doba_15 = -1/laml(k_usek)*log(1-rand(1));
            n_15 = [n_15 ; gen_doba_15];
        end

        nru_15(k_usek,k_rok)=length(n_15)-1;

        if nru_15(k_usek,k_rok) > 0

tsru_15(k_usek,k_rok)=sum(exp(randn(nru_15(k_usek,k_rok),1)*sigma+mi));
        end
    end
end

% 16. vývod
doby_do_por_16 = [];
n_16=[];
nru_16 = zeros(pocet_useku,10000);
tsru_16 = nru_16;

for k_usek=1:pocet_useku

    for k_rok=1:10000
        n_16=[];

        while sum (n_16) < 1
            gen_doba_16 = -1/lams(k_usek)*log(1-rand(1));
            n_16 = [n_16 ; gen_doba_16];
        end

        nru_16(k_usek,k_rok)=length(n_16)-1;

        if nru_16(k_usek,k_rok) > 0

tsru_16(k_usek,k_rok)=sum(exp(randn(nru_16(k_usek,k_rok),1)*sigma+mi));
        end
    end
end

```

```

% ----- Vykreslení distribuční funkce Tdp -----
figure
doby_do_por_1=pom1;
tsort=sort(doby_do_por_1);
length(doby_do_por_1)
prst=([1:length(doby_do_por_1)]'/length(doby_do_por_1));
stairs(tsort,prst);
title('Distribuční funkce doby do poruchy T_d_p - lichý vývod');
xlabel('Doby do poruchy [rok]');
ylabel('F(T_d_p) [-]');

figure
doby_do_por_2=pom2;
tsort=sort(doby_do_por_2);
length(doby_do_por_2)
prst=([1:length(doby_do_por_2)]'/length(doby_do_por_2));
stairs(tsort,prst);
title('Distribuční funkce doby do poruchy T_d_p - sudý vývod');
xlabel('Doby do poruchy [rok]');
ylabel('F(T_d_p) [-]');

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
format long;
% ----- Výpočet ukazatelů SAIFI a SAIDI -----
o1= [350 350 350 350 350 ];
o2= [350 350 350 350 350 ];
o3= [350 350 350 350 350 ];
o4= [350 350 350 350 350 ];
o5= [350 350 350 350 350 ];
o6= [350 350 350 350 350 ];
o7= [350 350 350 350 350 ];
o8= [350 350 350 350 350 ];
o9= [350 350 350 350 350 ];
o10=[350 350 350 350 350 ];
o11=[350 350 350 350 350 ];
o12=[350 350 350 350 350 ];
o13=[350 350 350 350 350 ];
o14=[350 350 350 350 350 ];
o15=[350 350 350 350 350 ];
o16=[350 350 350 350 350 ];

%//JOO//////////SAIFIRa SAIDIRa//////////

np_ra_1 = sum(nru_1);
kazdem roce --- matice 1x10000
tsroa_ra_1 = sum(tsru_1);
usecich po kazdem roce --- matice 1x10000

np_ra_2 = sum(nru_2);
tsroa_ra_2 = sum(tsru_2);

np_ra_3 = sum(nru_3);
tsroa_ra_3 = sum(tsru_3);

np_ra_4 = sum(nru_4);
tsroa_ra_4 = sum(tsru_4);

```

```

np_ra_5 = sum(nru_5);
tsroa_ra_5 = sum(tsru_5);

np_ra_6 = sum(nru_6);
tsroa_ra_6 = sum(tsru_6);

np_ra_7 = sum(nru_7);
tsroa_ra_7 = sum(tsru_7);

np_ra_8 = sum(nru_8);
tsroa_ra_8 = sum(tsru_8);

np_ra_9 = sum(nru_9);
tsroa_ra_9 = sum(tsru_9);

np_ra_10 = sum(nru_10);
tsroa_ra_10 = sum(tsru_10);

np_ra_11 = sum(nru_11);
tsroa_ra_11 = sum(tsru_11);

np_ra_12 = sum(nru_12);
tsroa_ra_12 = sum(tsru_12);

np_ra_13 = sum(nru_13);
tsroa_ra_13 = sum(tsru_13);

np_ra_14 = sum(nru_14);
tsroa_ra_14 = sum(tsru_14);

np_ra_15 = sum(nru_15);
tsroa_ra_15 = sum(tsru_15);

np_ra_16 = sum(nru_16);
tsroa_ra_16 = sum(tsru_16);

saifira = (sum(o1)*np_ra_1' + sum(o2)*np_ra_2' + sum(o3)*np_ra_3' +
sum(o4)*np_ra_4' + sum(o5)*np_ra_5' + sum(o6)*np_ra_6' + sum(o7)*np_ra_7' +
sum(o8)*np_ra_8' + sum(o9)*np_ra_9' + sum(o10)*np_ra_10' + sum(o11)*np_ra_11' +
sum(o12)*np_ra_12' + sum(o13)*np_ra_13' + sum(o14)*np_ra_14' +
sum(o15)*np_ra_15' +
sum(o16)*np_ra_16') / (sum(o1)+sum(o2)+sum(o3)+sum(o4)+sum(o5)+sum(o6)+sum(o7)+s
um(o8)+sum(o9)+sum(o10)+sum(o11)+sum(o12)+sum(o13)+sum(o14)+sum(o15)+sum(o16))
;
saidira = (sum(o1)*tsroa_ra_1' + sum(o2)*tsroa_ra_2' + sum(o3)*tsroa_ra_3' +
sum(o4)*tsroa_ra_4' + sum(o5)*tsroa_ra_5' + sum(o6)*tsroa_ra_6' +
sum(o7)*tsroa_ra_7' + sum(o8)*tsroa_ra_8' + sum(o9)*tsroa_ra_9' +
sum(o10)*tsroa_ra_10' + sum(o11)*tsroa_ra_11' + sum(o12)*tsroa_ra_12' +
sum(o13)*tsroa_ra_13' + sum(o14)*tsroa_ra_14' + sum(o15)*tsroa_ra_15' +
sum(o16)*tsroa_ra_16') / (sum(o1)+sum(o2)+sum(o3)+sum(o4)+sum(o5)+sum(o6)+sum(o7
)+sum(o8)+sum(o9)+sum(o10)+sum(o11)+sum(o12)+sum(o13)+sum(o14)+sum(o15)+sum(o1
6));

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%SAIFI a SAIDI - průměrné hodnoty%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
saifipa=mean(saifira')
saidipa=mean(saidira')

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%-----Vykreslení distribuční funkce a histogramu SAIFI a SAIDI-----

```

```

krok_saifira = 0.1; %parametry pro histogram SAIFI
min_saifira = krok_saifira/2;
max_saifira = 1;

krok_saidira = 5; %parametry pro histogram SAIDI
min_saidira = krok_saidira/2;
max_saidira = 100;

tsort_saifira=sort(saifira);
pocet_saifira=(1:length(saifira))/length(saifira);%parametry pro dist.
funkci SAIFI

tsort_saidira=sort(saidira);
pocet_saidira=(1:length(saidira))/length(saidira);%parametry pro dist.
funkci SAIDI

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
figure %Vykreslení ukazatele SAIFI

x = subplot(2,2,1);
[c,x]=hist(saifira,krok_saifira/2:krok_saifira:max_saifira);
bar(x,c/(length(saifira)/100),1)
    grid on
    title('Histogram SAIFI');
    xlabel('SAIFI [1/rok]');
    ylabel('Pravděpodobnost výskytů [%]');

x = subplot(2,2,2); stairs(tsort_saifira,pocet_saifira);
    grid on
    title('Distibuční funkce SAIFI');
    xlabel('SAIFI [1/rok]'); ylabel('F(SAIFI) [-]');

%-----
figure %Vykreslení ukazatele SAIDI
y = subplot(2,2,1);
[d,x]=hist(saidira,krok_saidira/2:krok_saidira:max_saidira);
    bar(x,d/(length(saidira)/100),1)
    grid on
    title('Histogram SAIDI');
    xlabel('SAIDI [min/rok]');
    ylabel('Pravděpodobnost výskytů [%]');

y = subplot(2,2,2); stairs(tsort_saidira,pocet_saidira);
    grid on
    title('Distibuční funkce SAIDI');
    xlabel('SAIDI [min/rok]'); ylabel('F(SAIDI) [-]');

```

PŘÍLOHA D – ZDROJOVÝ KÓD PRO SÍŤ 22kV v ČR

```
% -----  
% DP - Simulace spolehlivosti vývodů VN nesequenční metodou  
%       Monte Carlo - síť 22kV v ČR  
% -----  
  
clear all; clc; close all  
  
%definice prvků pro výpočet  
pocet_vyvodu=8;  
pocet_useku=10;  
lambdak=0.04; % měrná poruchovost - lambda  
lu=[0.1 0.3 0.3 0.3 0.3 0.3 0.3 0.3 0.3 0.3]; % délky úseků  
lam=lambdak*lu;  
nru=0;  
% parametry pro generování času - logaritmicko-normalního rozdělení  
sigma=0.65;  
mi=4.25;  
  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
% Generování potřebných dat - naplnění matice roky x úseky  
  
% 1. vývod  
doby_do_por_1 = [];  
n_1=[];  
pom=[];  
nru_1 = zeros(pocet_useku,10000);  
tsru_1 = nru_1;  
for k_usek=1:pocet_useku  
  
    for k_rok=1:10000;  
        n_1=[];  
  
        while sum (n_1) < 1  
            gen_doba_1 = -1/lam(k_usek)*log(1-rand(1));  
            pom = [pom;gen_doba_1];  
            n_1 = [n_1 ; gen_doba_1];  
        end  
  
        nru_1(k_usek,k_rok)=length(n_1)-1;  
  
        if nru_1(k_usek,k_rok) > 0  
            tsru_1(k_usek,k_rok)=sum(exp(randn(nru_1(k_usek,k_rok),1)*sigma+mi));  
            else tsru_1(k_usek,k_rok)=0;  
        end  
    end  
end  
  
A=[0];  
for k_usek=1:pocet_useku  
  
    for k_rok=1:10000;  
        if tsru_1(k_usek,k_rok) > 0  
            A=[A; tsru_1(k_usek,k_rok)];  
        end  
    end  
end
```

```
figure
tsortA=sort(A); %seřazení dob do poruchy
length(A) %vypíše počet poruch
prstA=([1:length(A)]'/length(A));
meanA= mean(A)
stairs(tsortA,prstA); %vykreslení distribuční funkce Tsp
grid on
title('Distribuční funkce doby trvání poruchy T_s_p');
xlabel('Délka trvání poruchy T_s_p [min]');
ylabel('F(T_s_p) [-]');

% 2. vývod
doby_do_por_2 = [];
n_2=[];
nru_2 = zeros(pocet_useku,10000);
tsru_2 = nru_2;
for k_usek=1:pocet_useku

    for k_rok=1:10000
        n_2=[];

        while sum (n_2) < 1
            gen_doba_2 = -1/lam(k_usek)*log(1-rand(1));
            n_2 = [n_2 ; gen_doba_2];
        end

        nru_2(k_usek,k_rok)=length(n_2)-1;

        if nru_2(k_usek,k_rok) > 0

tsru_2(k_usek,k_rok)=sum(exp(randn(nru_2(k_usek,k_rok),1)*sigma+mi));

        end
    end

% 3. vývod
doby_do_por_3 = [];
n_3=[];

for k_usek=1:pocet_useku

    for k_rok=1:10000
        n_3=[];

        while sum (n_3) < 1

            gen_doba_3 = -1/lam(k_usek)*log(1-rand(1));

            n_3 = [n_3 ; gen_doba_3];

            if sum (n_3) < 1
                doby_do_por_3=[doby_do_por_3; gen_doba_3];
            end

        end
    end
end
```

```
nru_3(k_usek,k_rok)=length(n_3)-1;

if nru_3(k_usek,k_rok) > 0

tsru_3(k_usek,k_rok)=sum(exp(randn(nru_3(k_usek,k_rok),1)*sigma+mi));
else tsru_3(k_usek,k_rok)=0;
end
end
end

% 4. vývod
doby_do_por_4 = [];
n_4=[];

for k_usek=1:pocet_useku

    for k_rok=1:10000
        n_4=[];

        while sum (n_4) < 1

            gen_doba_4 = -1/lam(k_usek)*log(1-rand(1));

            n_4 = [n_4 ; gen_doba_4];

            if sum (n_4) < 1
                doby_do_por_4=[doby_do_por_4; gen_doba_4];
            end

        end

        nru_4(k_usek,k_rok)=length(n_4)-1;

        if nru_4(k_usek,k_rok) > 0

tsru_4(k_usek,k_rok)=sum(exp(randn(nru_4(k_usek,k_rok),1)*sigma+mi));
else tsru_4(k_usek,k_rok)=0;
end
end
end

% 5. vývod
doby_do_por_5 = [];
n_5=[];

for k_usek=1:pocet_useku

    for k_rok=1:10000
        n_5=[];

        while sum (n_5) < 1

            gen_doba_5 = -1/lam(k_usek)*log(1-rand(1));

            n_5 = [n_5 ; gen_doba_5];

            if sum (n_5) < 1
                doby_do_por_5=[doby_do_por_5; gen_doba_5];
            end

        end

    end

end
```

```
        end

    end

    nru_5(k_usek,k_rok)=length(n_5)-1;

    if nru_5(k_usek,k_rok) > 0

tsru_5(k_usek,k_rok)=sum(exp(randn(nru_5(k_usek,k_rok),1)*sigma+mi));
        else tsru_5(k_usek,k_rok)=0;
        end
    end
end

% 6. vývod
doby_do_por_6 = [];
n_6=[];

for k_usek=1:pocet_useku

    for k_rok=1:10000
        n_6=[];

        while sum (n_6) < 1

            gen_doba_6 = -1/lam(k_usek)*log(1-rand(1));

            n_6 = [n_6 ; gen_doba_6];

            if sum (n_6) < 1
                doby_do_por_6=[doby_do_por_6; gen_doba_6];
            end

        end

        nru_6(k_usek,k_rok)=length(n_6)-1;

        if nru_6(k_usek,k_rok) > 0

tsru_6(k_usek,k_rok)=sum(exp(randn(nru_6(k_usek,k_rok),1)*sigma+mi));
            else tsru_6(k_usek,k_rok)=0;
            end
        end
    end

% 7. vývod
doby_do_por_7 = [];
n_7=[];

for k_usek=1:pocet_useku

    for k_rok=1:10000
        n_7=[];

        while sum (n_7) < 1

            gen_doba_7 = -1/lam(k_usek)*log(1-rand(1));
```



```

        n_7 = [n_7 ; gen_doba_7];

        if sum (n_7) < 1
            doby_do_por_7=[doby_do_por_7; gen_doba_7];
        end

    end

    nru_7(k_usek,k_rok)=length(n_7)-1;

    if nru_7(k_usek,k_rok) > 0

tsru_7(k_usek,k_rok)=sum(exp(randn(nru_7(k_usek,k_rok),1)*sigma+mi));
    else tsru_7(k_usek,k_rok)=0;
    end
end
end

% 8. vývod
doby_do_por_8 = [];
n_8=[];

for k_usek=1:pocet_useku

    for k_rok=1:10000
        n_8=[];

        while sum (n_8) < 1

            gen_doba_8 = -1/lam(k_usek)*log(1-rand(1));

            n_8 = [n_8 ; gen_doba_8];

            if sum (n_8) < 1
                doby_do_por_8=[doby_do_por_8; gen_doba_8];
            end

        end

        nru_8(k_usek,k_rok)=length(n_8)-1;

        if nru_8(k_usek,k_rok) > 0

tsru_8(k_usek,k_rok)=sum(exp(randn(nru_8(k_usek,k_rok),1)*sigma+mi));
            else tsru_8(k_usek,k_rok)=0;
            end
        end
    end

% ----- Vykreslení distribucní funkce Tdp-----
figure
doby_do_por_1=pom;
tsort1=sort(doby_do_por_1);
length(doby_do_por_1)
prst1=(1:length(doby_do_por_1)')/length(doby_do_por_1));
%seřazení dob do poruch
%vypíše počet poruch

```

```

stairs(tsort1,prst1);                                %vykreslení distribuční funkce Tdp
grid on
title('Distribuční funkce doby do poruchy T_d_p');
xlabel('Doby do poruchy T_d_p [rok]');
ylabel('F(T_d_p) [-]');

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
format long;
% ----- Výpočet ukazatelů SAIFI a SAIDI -----
o1=[350 350 350 350 350 350 350 350 350 350];
o2=[350 350 350 350 350 350 350 350 350 350];
o3=[350 350 350 350 350 350 350 350 350 350];
o4=[350 350 350 350 350 350 350 350 350 350];
o5=[350 350 350 350 350 350 350 350 350 350];
o6=[350 350 350 350 350 350 350 350 350 350];
o7=[350 350 350 350 350 350 350 350 350 350];
o8=[350 350 350 350 350 350 350 350 350 350];

%//////////SAIFI a SAIDI//////////

np_ra_1 = sum(nru_1);                                %součet počtů poruch na jednotlivých
vývodech v daném roce --- matice 1x10000
tsroa_ra_1 = sum(tsru_1);                             %součet délek trvání poruch na
jednotlivých vývodech v daném roce --- matice 1x10000

np_ra_2 = sum(nru_2);
tsroa_ra_2 = sum(tsru_2);

np_ra_3 = sum(nru_3);
tsroa_ra_3 = sum(tsru_3);

np_ra_4 = sum(nru_4);
tsroa_ra_4 = sum(tsru_4);

np_ra_5 = sum(nru_5);
tsroa_ra_5 = sum(tsru_5);

np_ra_6 = sum(nru_6);
tsroa_ra_6 = sum(tsru_6);

np_ra_7 = sum(nru_7);
tsroa_ra_7 = sum(tsru_7);

np_ra_8 = sum(nru_8);
tsroa_ra_8 = sum(tsru_8);

saifira = (sum(o1)*np_ra_1' + sum(o2)*np_ra_2' + sum(o3)*np_ra_3' +
sum(o4)*np_ra_4' + sum(o5)*np_ra_5' + sum(o6)*np_ra_6' + sum(o7)*np_ra_7' +
sum(o8)*np_ra_8') / (sum(o1)+sum(o2)+sum(o3)+sum(o4)+sum(o5)+sum(o6)+sum(o7)+sum
(o8));
saidira = (sum(o1)*tsroa_ra_1' + sum(o2)*tsroa_ra_2' + sum(o3)*tsroa_ra_3' +
sum(o4)*tsroa_ra_4' + sum(o5)*tsroa_ra_5' + sum(o6)*tsroa_ra_6' +
sum(o7)*tsroa_ra_7' +
sum(o8)*tsroa_ra_8') / (sum(o1)+sum(o2)+sum(o3)+sum(o4)+sum(o5)+sum(o6)+sum(o7)+
sum(o8));

%//////////SAIFIp a SAIDIp - průměrné hodnoty//////////
saifipa=mean(saifira')
saidipa=mean(saidira')

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%-----Vykreslení distribuční funkce a histogramu SAIFI a SAIDI-----

krok_saifira = 0.1;           %parametry pro histogram SAIFI
min_saifira = krok_saifira/2;
max_saifira = 1;

krok_saidira = 5;            %parametry pro histogram SAIDI
min_saidira = krok_saidira/2;
max_saidira = 150;

tsort_saifira=sort(saifira);
pocet_saifira=(1:length(saifira))/length(saifira);%parametry pro dist.
funkci SAIFI

tsort_saidira=sort(saidira);
pocet_saidira=(1:length(saidira))/length(saidira);%parametry pro dist.
funkci SAIDI

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
figure %Vykreslení ukazatele SAIFI

x = subplot(2,2,1);
[c,x]=hist(saifira,krok_saifira/2:krok_saifira:max_saifira);
bar(x,c/(length(saifira)/100),1)
    grid on
    title('Histogram SAIFI');
    xlabel('SAIFI [1/rok]');
    ylabel('Pravděpodobnost výskytů [%]');

x = subplot(2,2,2); stairs(tsort_saifira,pocet_saifira);
    grid on
    title('Distibuční funkce SAIFI');
    xlabel('SAIFI [1/rok]'); ylabel('F(SAIFI) [-]');

%-----
figure %Vykreslení ukazatele SAIDI
y = subplot(2,2,1);
[d,x]=hist(saidira,krok_saidira/2:krok_saidira:max_saidira);
    bar(x,d/(length(saidira)/100),1)
    grid on
    title('Histogram SAIDI');
    xlabel('SAIDI [min/rok]');
    ylabel('Pravděpodobnost výskytů [%]');

y = subplot(2,2,2); stairs(tsort_saidira,pocet_saidira);
    grid on
    title('Distibuční funkce SAIDI');
    xlabel('SAIDI [min/rok]'); ylabel('F(SAIDI) [-]');

```